

CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUELO DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ACADÉMICO DE
INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI,
FEBRERO DE 2015

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUELO DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE**

CHRISTOPHER DANILO FERNÁNDEZ CAMAYO

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL MEDIO AMBIENTE

PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

SANTIAGO DE CALI

2015

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL SUELO DE LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE**

CHRISTOPHER DANILO FERNÁNDEZ CAMAYO

**Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero agrícola**

DIRECTOR

JAIME E. DIAZ O.

INGENIERO

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL MEDIO AMBIENTE

INGENIERÍA AGRÍCOLA

SANTIAGO DE CALI

2015

NOTA DE APROBACIÓN

DIRECTOR

JURADO

JURADO

Santiago de Cali, de 2015

DEDICATORIA

A mis padres María Gimena Camayo y Álvaro Fernández, y mis hermanos por su confianza y apoyo incondicional siempre.

A Angela Cardona, que me alentó en los momentos de descreimiento.

Christopher Danilo Fernández Camayo

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Jaime Ernesto Díaz por su confianza y guía para la elaboración de este trabajo.

Al ingeniero y amigo Paul Guillermo López.

Al programa de ingeniería agrícola y toda su planta de profesores y por los conocimientos adquiridos durante el transcurso de la carrera.

A los monitores del LASA especialmente a Katherine por su colaboración en los procesos para la elaboración de este trabajo.

A todas las personas que hicieron parte en mi proceso de formación, profesores, amigos y compañeros.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	2
2. JUSTIFICACIÓN	4
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1. El suelo.....	5
3.1.1. El suelo como sistema trifásico	6
3.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.	7
3.1.2.1. Textura	7
3.1.2.2. Estructura	9
3.1.2.3. Estabilidad estructural	9
3.1.2.4. Porosidad del suelo	10
3.1.2.5 Densidad del suelo	14
3.1.2.6. La fase líquida del suelo	17
3.1.2.6.1. El agua del suelo	17
3.1.2.6.2. Contenido de humedad del suelo	18
3.1.2.6.3. Curva de retención de agua	18
3.2.1. Sistemas de información geográfica (SIG).....	21
3.2.2. RETC	22
4. OBJETIVOS.....	23
4.1 GENERAL	23
4.2. ESPECÍFICOS.....	23
5. MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1. Ubicación	24
5.2. Toma de datos y métodos de determinación	25
5.2.1. Descripción del perfil	25
5.2.2. Preparación del terreno.	26
5.2.3. Propiedades físicas del suelo.....	26
5.2.4. Generación de los mapas de propiedades físicas del suelo.	35
5.2.5. Análisis estadístico	37
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
6.1. Textura	38

6.2. Densidad del suelo:	39
6.2.1. Densidad aparente	39
6.2.2. Densidad real.....	42
6.2.3. Evaluación de la densidad del suelo.	43
6.3. Porosidad	44
6.3.1. Porosidad total	44
6.3.2. Macroporosidad	46
6.3.3 Microporosidad	48
6.3.4 Evaluación de la porosidad	50
6.4 Fase liquida del suelo	51
6.4.1. Punto de marchitez permanente	51
6.4.3. Evaluación fase liquida del suelo.	57
6.5. Estructura	57
6.6.. Recomendaciones para el manejo del suelo	¡Error! Marcador no definido.
7. CONCLUSIONES	¡Error! Marcador no definido.
8. BIBLIOGRAFÍA	62
9. ANEXOS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema fases del suelo	6
Figura 2. Triángulo textural del suelo mostrando los porcentajes de arcilla, limo y arena de las clases texturales (USDA 199)	8
Figura 3. Clases de agua en el suelo	20
FIGURA 4. Efecto teórico de la textura sobre el comportamiento de la curva de retención de humedad del suelo	21
Figura 5. Vista general área de estudio de la granja agrícola de la universidad del valle.	24
Figura 6. Distribución espacial puntos de muestreo.	25
Figura 7. Esquema de extracción de muestras en campo.	26
Figura 8. Interfaz Software RETC	34
Figura 9. Ingresos de las variables al software	35
Figura 10. Determinación curva caracterizticas de humedad	35
Figura 11. Generación de la distribución espacial de las propiedades analizadas	37
Figura 12. Distribución porcentual de la textura en el suelo	38
Figura 13. Distribución espacial de la textura en el suelo	38
Figura 14. Distribución espacial de la densidad aparente entre los (0-10cm)	40
Figura 15. Distribución espacial de la densidad aparente entre los (0-10cm)	41
Figura 16. Distribución espacial de la densidad aparente entre los (10-20 cm)	41
Figura 17. Distribución espacial de la densidad aparente entre los (20-30 cm)	41
Figura 18. Distribución porcentual de la densidad real el perfil del suelo (0-30) cm	42
Figura 19. Distribución espacial de la densidad real para el perfil del suelo 0-30cm	42
Figura 20. Distribución espacial de la porosidad total en el suelo para una profundidad entre los (0-10 cm)	44
Figura 21. Distribución espacial de la porosidad total entre los (10-20 cm)	45
Figura 22. Distribución espacial de la porosidad total en	

el suelo para una profundidad entre los (20-30 cm)	45
Figura 23. Distribución espacial de la macroporosidad en el suelo para una profundidad entre los (0-10 cm)	46
Figura 24. Distribución espacial de la macroporosidad en el suelo para una profundidad entre los (10-20 cm)	46
Figura 25. Distribución espacial de la macroporosidad en entre los (20-30 cm)	47
Figura 26. Distribución espacial de la macroporosidad en el suelo para una profundidad entre los (0-10 cm)	48
Figura 27. Distribución espacial de la microporosidad entre los (10-20 cm)	48
Figura 28. Distribución espacial de la microporosidad en el entre los (20-30 cm)	48
Figura 29. Distribución espacial del PMP en el suelo entre los (0-10 cm)	50
Figura 30. Distribución espacial del PMP en el suelo para entre los (20-30 cm)	51
Figura 31. Distribución espacial del PMP en el suelo entre los (20-30 cm).	51
Figura 32. Distribución espacial Agua Aprovechable en el suelo entre los (0-10 cm)	52
Figura 33. Distribución espacial Agua Aprovechable en el suelo entre los (10-20 cm)	52
Figura 34. Distribución espacial Agua Aprovechable en el suelo entre los (20-30 cm)	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los poros del suelo, según su tamaño	13
Tabla 2. de la porosidad total del suelo (Kaurichev, 1984)	13
Tabla 3. Valores medios de densidad aparente (Jaramillo 2002)	15
Tabla 4. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, con base en la textura del suelo	16
Tabla 5. Valores de densidades reales para algunos elementos	17
Tabla 6. Métodos de determinación de las variables físicas de respuesta	27
Tabla 7. Densidad del suelo	40
Tabla 8. Porosidad	44

Tabla 9. Valores medios de macroporosidad	46
Tabla 10. Valores medios de microporosidad	47
Tabla 11. Valores medios de Punto de marchitez permanente	50
Tabla 12. Valores medios de Porcentaje de Agua aprovechable	52

LISTA DE ABREVIATURAS

Densidad aparente	Da
Densidad real	Dr
Porcentaje de arena	A%
Porcentaje de Arcilla	Ar%
Porcentaje de Limo	L%
Punto de marchitez permanente	PMP
g/cm ³	Gramos por centímetro cubico
Ha	Hectárea
USDA	United State Department of Agricultural

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis descriptivo textura	59
Anexo 2. Análisis descriptivo de las propiedades físicas del suelo.	61
Anexo 3. Relación entre la textura y la humedad del suelo (Cisneros 2003)	67
Anexo 4. Datos para determinación de la textura del suelo. Método de Bouyucos	68
Anexo 5. Datos para el cálculo de la densidad aparente del suelo en cada uno de los puntos de muestreo para las tres profundidades además de la porosidad total, macroporosidad y microporosidad mediante el Software ArcGIS 10.1.	70
Anexo 6. Datos para calculo densidad real.	75

RESUMEN

La granja agrícola es el lugar donde se llevan a cabo prácticas de laboratorio y proyectos de tesis de pregrado y postgrado de estudiantes de la escuela de ingeniería de recursos naturales y del medio ambiente, no obstante cada proceso que se debe realizar directamente en el suelo conlleva estudios de análisis de suelo concernientes a la caracterización de este para su posterior uso, sin que se cuente con un análisis referente que permita un análisis previo del suelo ni la posibilidad de evaluar el efecto de las prácticas agrícolas sobre este, por lo tanto en esta investigación se buscó caracterizar algunas de las propiedades físicas más importantes del suelo, con el fin de que sirvan de referentes para investigaciones próximas.

Para llevar a cabo dicha investigación se diseñó una malla de 45 puntos, con distancia regular a 5 metros tomando muestras entre los 0 y los 30 cm de profundidad, se determinaron contenidos de arcilla, limo y arena, densidad aparente, densidad real, macroporosidad, microporosidad, porosidad total, además con la ayuda del software RETC se determinó de manera indirecta las curvas de retención humedad para determinar el punto de marchitez permanente del suelo y capacidad de agua aprovechable, por otra parte se elaboraron los mapas de las propiedades del suelo mediante el uso del paquete informático ArcGis 10.1. que permitió el análisis espacial de los diferentes parámetros.

Los datos se analizaron mediante el uso de estadística descriptiva, además se encontró relación entre la caracterización realizada para el suelo, y las características teóricas que presenta un suelo con esa caracterización física.

1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizó la caracterización física de la granja agrícola de la Universidad del Valle, con el fin de tener un mayor conocimiento de las condiciones bajo las que se realizan las diferentes prácticas agrícolas en este campo. Las propiedades físicas de los suelos, determinan en gran medida, la capacidad de muchos de los usos a los que el hombre los sujeta. La condición física de un suelo, establece, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas cuyo objeto de estudio es el uso del suelo, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender la forma y cómo influyen en el crecimiento de las plantas y en qué medida la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo (Rucks L, García F, Kaplán A, Ponce de León J, & Hill, M., 2004).

La caracterización física de los suelos resulta una tarea compleja como todos aquellos estudios destinados a agrupar propiedades que definen un determinado comportamiento del funcionamiento del suelo. En el caso particular de las propiedades relacionadas con la fertilidad física del suelo esta complejidad está dada, entre otros factores, por la diversidad de la estructura del suelo. Este aspecto resulta de gran peso, teniendo en cuenta que, de acuerdo con lo que se pretende alcanzar con el reconocimiento del suelo, algunas propiedades requerirán de un mayor número de observaciones para describirlas o para conocer su evolución en el tiempo y el espacio (Cid Greco, *et al*, 2006).

Las propiedades físicas del suelo, junto con las químicas, biológicas y mineralógicas, determinan, entre otras, la productividad de los suelos. Su conocimiento permite un mejor desarrollo de las prácticas de labranza, fertilización, riego y drenaje. Además la raíz es el órgano fundamental en la nutrición de las plantas y de su sano crecimiento depende la evolución de la parte aérea. Por otra parte, textura, estructura, porosidad, densidad aparente y real y constantes de humedad como capacidad de campo, punto

de marchitez permanente, agua aprovechable y capacidad de retención de agua, son parámetros físicos que permiten evaluar las condiciones de aireación y drenaje estrechamente ligadas con la capacidad de la planta para la toma de agua, oxígeno y nutrimentos.

Las propiedades físicas del suelo proveen una importante información que permiten conocer mejor el funcionamiento de un suelo y como interactúa con la planta; además son un elemento determinante al momento de evaluar la evolución de un cultivo en él (Porta *et al*, 2003).

2. JUSTIFICACIÓN

La caracterización física de los suelos tiene como objetivo principal establecer la respuesta del suelo a las prácticas asociadas en los diferentes sistemas de producción, así como evaluar la susceptibilidad de los suelos a sufrir algún proceso de degradación. Las propiedades físicas del suelo están relacionadas con la capacidad que tiene éste para ofrecer diferentes usos que sean de provecho para el ser humano. Para el buen uso, conservación, manejo y recuperación del recurso suelo, se requiere conocer las propiedades básicas del mismo. La capacidad agrológica de un suelo no sólo depende de sus contenidos nutrimentales, sino también, de las condiciones físicas del mismo, condiciones que en ocasiones, no se determinan. Hay que recordar, que el desarrollo de la parte aérea de una planta depende del desarrollo de la raíz la que, a su vez, está en función de una relación adecuada de humedad en el suelo (Flores & Alcalá, 2010).

La Granja Agrícola es el lugar donde se realizan proyectos de investigación relacionados con la relación suelo-planta-agua, además de las interacciones con la biota propia del suelo, sin embargo aún no se ha realizado una caracterización física y química sistemática del terreno sobre el que funciona este laboratorio de prácticas agrícolas. Como ya se mencionó, el conocimiento de las características físicas de un suelo es de suma importancia en el momento de determinar cuáles son los procedimientos que se van a llevar a cabo en un montaje experimental, una caracterización del suelo es necesaria para conocer las herramientas con las que se está trabajando y elaborar nuevas metodologías, o realizar la correcta aplicación de las existentes.

Este trabajo permitirá tener un mayor conocimiento de las características físicas del suelo de la granja, pretende de esta manera ser una base de consulta e información para futuros trabajos de campo que se realicen bajo las condiciones experimentales de la granja, permitiendo también tomar los correctivos en el caso de que sea necesarios para algunos parámetros evaluados, lo que permita tener mayor control sobre la zona experimental.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. El suelo

Según Cid et al (2006), el suelo es un sistema disperso, heterogéneo, trifásico y poroso, en el cual el área interfacial por unidad de volumen puede ser muy grande. La naturaleza dispersa del suelo y su consecuente actividad interfacial, da origen a fenómenos tales como la adsorción del agua y los elementos químicos, el intercambio iónico, la adhesión, la contracción- dilatación, la dispersión, floculación y la capilaridad. En el mismo sentido Porta (2003), considera que el suelo es un sistema abierto, dinámico, constituido por tres fases. La fase sólida está formada por los componentes inorgánicos y los orgánicos, que dejan un espacio de huecos o poros en el que se hallan la fase líquida y la gaseosa. El volumen de los poros está ocupado parcialmente por agua, como componente principal de la fase líquida, que puede llevar iones y sustancias de en solución o en suspensión; por aire que constituye la fase gaseosa o atmósfera del suelo y por las raíces y organismos que viven en el suelo.

También Porta (2003), considera que los suelos se originan en su mayoría de la roca madre mediante procesos paulatinos de intemperismo, por meteorización física (fragmentación) o por meteorización química y biológica, que conlleva cambios químicos y biológicos; de material edafizado (in situ), es decir un suelo antiguo que queda al descubierto por erosión de un suelo superior que le recubría. Erosionado, transportado y re depositado además de otros factores formadores.

El suelo está constituido por capas llamadas horizontes; la presencia de horizontes es el resultado de la evolución o génesis de un suelo a partir de un material originario, de ahí que se denominen horizontes genéticos. Esta formación, se debe a los diversos procesos que pueden tener lugar dentro de un suelo.

El perfil del suelo o perfil edáfico está definido como una serie de porciones aproximadamente paralelas entre si y a la superficie del terreno; cuando estas porciones están diferenciadas, debido que sus características son el resultado de la pedogénesis, reciben el nombre de horizontes genéticos, si las diferencias observadas

no se deben a la pedogénesis, las porciones observadas reciben el nombre de capas.

En la nomenclatura de suelos se definen 6 horizontes o capas maestros en el suelo, los cuales simboliza con las letras mayúsculas: O, A, E, B C Y R. también el símbolo W para indicar la presencia de capas de agua, hielo o nieve que estén sobre la superficie del suelo (Jaramillo, 2002). La mayoría de los suelos desarrollados poseen al menos los horizontes A, B, C, otros suelos no tan desarrollados carecen de estos horizontes (Huerta, 2010).

3.1.1. El suelo como sistema trifásico

Según Hillel (citado por Jaramillo, 2002), el suelo, es un sistema heterogéneo, polifásico, particulado, disperso y poroso en el cual el área interfacial por unidad de volumen puede ser muy grande. La figura 1 presenta un esquema de las tres fases que componen el sistema suelo son:

- La fase sólida, compuesta por el conjunto de las partículas inorgánicas (cristalinas y no cristalinas) y las orgánicas.
- La fase líquida, que la componen el agua y los solutos que están disueltos en ella es decir, la fase líquida es, en realidad, una solución: la solución del suelo.
- La fase gaseosa: o atmósfera del suelo, formada por todos aquellos compuestos que se presentan en forma gaseosa y cuyos representantes más abundantes, en condiciones de aireación adecuada del suelo son el CO_2 , O_2 y vapor de agua.

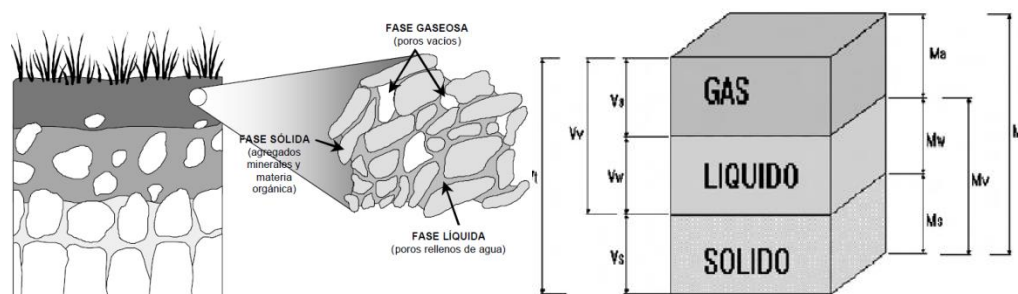


Figura 1. Esquema fases del suelo (Jordán, 2005) y (Cid et al (2006)

3.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.

La fase sólida del suelo está compuesta de sustancias de diferente naturaleza química y mineralógica, de variada forma, tamaño y orientación. El comportamiento mecánico de la fase sólida del suelo determina, a su vez, las propiedades físicas del suelo, las cuales pueden ser divididas en dos grupos principales:

- a) Características físicas fundamentales: textura, estructura, color, consistencia, densidad y temperatura.
- b) Características físicas derivadas: porosidad, capacidad de aire, capacidad de agua, compactación y profundidad radicular efectiva (Giménez, 2009).

3.1.2.1. Textura

El termino textura hace referencia a la composición granulométrica de la fracción inorgánica del suelo. El conocimiento de la composición granulométrica del suelo es importante para cualquier estudio, ya sea desde el punto de vista genético o aplicado (Jordán, 2005). La textura del suelo está relacionada con el tamaño de las partículas minerales. Se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo. Según Sampat (1991) citado por Reyes (2010), es una de las propiedades con más clara influencia sobre las propiedades físicas que determinan las condiciones estructurales del suelo. Dentro de la textura, la partícula que mayor influencia tiene en los procesos de formación y evolución de la estructura es la arcilla. Este coloide de carga negativa interviene de la siguiente forma:

- a) Incrementa la cohesión de la estructura en estado húmedo.
- b) Favorece la existencia de una estructura fragmentada debido a las propiedades de expansión y retracción que le confiere al suelo (Blanco, 2000).

La cohesión en estado húmedo está asociada principalmente al contenido en arcilla. En este sentido, Bonneau y Souchier (citados por Blanco, 2000) establecen que la estabilidad estructural del suelo aumenta hasta valores del 50% de arcilla, llegando en

algunos casos a ser superiores, para después disminuir netamente por la formación de fisuras.

La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Huerta, 2010).

Según la USDA (1999) Hay tres clasificaciones generales, de partículas minerales:

- Partículas de arena– 2.0 mm (muy gruesa) a 0.05 mm (muy fina);
- Partículas de limo – 0.05 mm a 0.002 mm;
- Partículas de arcilla – menores de 0.002 mm.

Doce Clases Texturales de Suelo. Las definiciones de las 12 clases texturales del suelo están basadas en la porción relativa o peso de estas tres clases de partículas Figura (2)

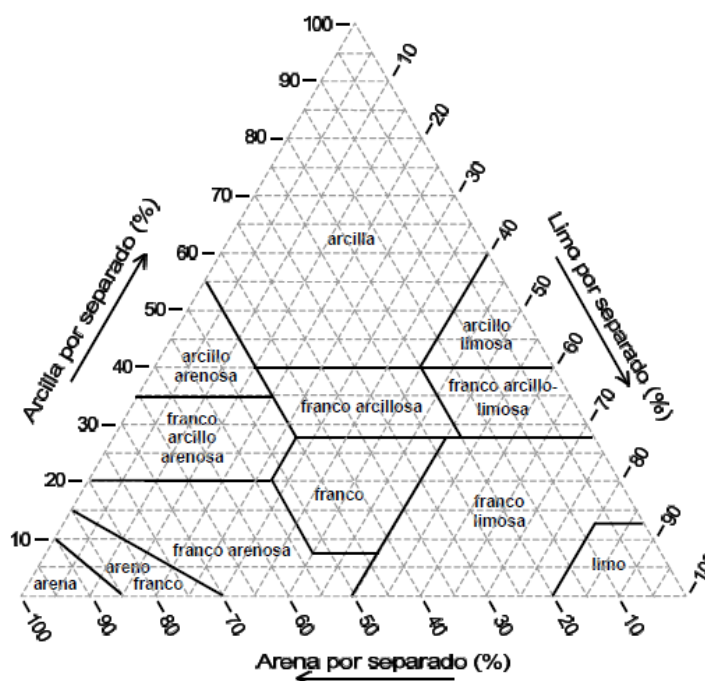


Figura 2. Triángulo textural del suelo mostrando los porcentajes de arcilla, limo y arena de las clases texturales (USDA 1999).

3.1.2.2. Estructura

El arreglo y la organización de las partículas constitutivas del suelo, se conoce como estructura del suelo. Las unidades secundarias que se forman de la unión de las partículas primarias o individuales del suelo, se denomina agregados. Tales patrones o arreglos espaciales necesariamente incluyen espacios porosos.

Existen fuerzas que mantienen unidos los componentes permitiendo que los agregados se comporten como una unidad. Tales fuerzas son mayores que aquellas que unen agregados adyacentes, de esa forma, al aplicarse una presión sobre una masa de suelo, los agregados se separan por superficies naturales de fragilidad, que representan los límites entre agregados (Giménez, 2009).

Se debe entender por partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas. Por tanto, «partícula» designa a toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (arena, limo, arcilla) o secundaria (agregado o unidad estructural). (Rucks et al., 2004).

3.1.2.3. Estabilidad estructural

Aunque la formación de la estructura es un proceso fundamental en el suelo, su persistencia frente a agentes perturbadores del medio es indispensable para tener un medio físico edáfico adecuado; la estabilidad estructural es la que define en gran medida, la intensidad y el tipo de uso y manejo y, desde el punto de vista del manejo intensivo del suelo, ésta es una de las propiedades que mejor deben conocerse, ya que es la que más determina su resistencia al deterioro y a la erosión.

Los principales agentes que perturban la estructura son las gotas de lluvia, la mecanización, la presencia de ciertos cationes como el sodio, las condiciones inadecuadas de humedad y el déficit de coloides en el suelo, entre otros.

Según Ingelmo y Cuadrado (citados por Jaramillo, 2002), la estabilidad estructural de un suelo está controlada por los mismos factores que contribuyen a la estructuración, pudiéndose destacar que, a mayor contenido de arcilla y de materia orgánica, hay mayor estabilidad; a menor laboreo y mayor población microbiana, mayor estabilidad Utomo y Dexter, 1982; (citados por Jaramillo, 2002), a mayores revestimientos de los pedos con óxidos de hierro y aluminio, mayor estabilidad (Sánchez, 1981; citado por Jaramillo, 2002).

3.1.2.4. Porosidad del suelo

La porosidad total del suelo es el volumen de éste que no está ocupado por sólidos; es el volumen que hay disponible en el suelo para los líquidos y los gases. (Jaramillo, 2002). Los espacios o poros que hay entre partículas sólidas (orgánicas e inorgánicas) del suelo, contienen diversas cantidades de dos componentes inorgánicos clave: el agua y el aire. El agua es el principal componente líquido de los suelos y contiene sustancias minerales, oxígeno (O_2) y bióxido de carbono (CO_2) en disolución, mientras que la fase gaseosa en los suelos está constituida por aire. Dependiendo del contenido de humedad del suelo, los poros se encuentran ocupados por agua o por aire (Aguilera, 1989; citado por Huerta, 2010). Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macroporos y microporos. Los primeros no retienen el agua contra la fuerza de la gravedad, y por tanto son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo además, el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos, son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas. La porosidad total o espacio poroso del suelo, es la suma de macroporos, mesoporos y microporos. Las características del espacio poroso, dependen de la textura y la estructura del suelo (Rucks et al., 2004).

La distribución del espacio poroso depende de la composición y arreglo de la fracción sólida, es decir, de la textura, del contenido de materia orgánica y de la estructura, definiéndose dos tipos de espacios porosos:

- Microporosidad o Porosidad textural, está compuesta por el volumen de los

poros más finos que tiene el suelo y que, en su mayor cantidad se encuentran en el interior de los peds.

- Los mesoporos son los poros capilares típicos de un suelo de textura media; el agua que los permea sigue las leyes de capilaridad y la ley de flujo de Darcy (Flores & Alcalá, 2010).
- Macroporosidad o Porosidad estructural, es el volumen de poros grandes del suelo, los cuales se encuentran, en mayor proporción, ubicados entre los peds. (Jaramillo, 2002)

Tanto el tipo de estructura como la textura influyen sobre los valores de porosidad. Los suelos de estructura grumosa estable tienen una porosidad total elevada, en torno al 60-70%, siendo la micro y macroporosidad del mismo orden de magnitud. Los suelos de textura fina tienen en general una porosidad total superior a los de textura gruesa, hecho que se encuentra matizado por el nivel de compactación que presente el suelo. Así, un suelo medio presenta una porosidad de alrededor del 50%; mientras que, los suelos limosos compactos la porosidad total desciende al 40% y la macroporosidad es muy pequeña según Bonneau Y Souchier (citados por Blanco, 2000).

El volumen de poros del suelo puede expresarse como un porcentaje del volumen total de huecos. A su vez, este espacio puede dividirse en dos compartimentos:

1. Capacidad de campo. Es la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener en contra de la fuerza de la gravedad. Este valor depende, obviamente del número, tamaño, distribución y forma de los poros.
2. Capacidad de aire. Es el volumen total de aire que existe en el suelo cuando la humedad coincide con la capacidad de campo. La capacidad de aire en los suelos arenosos se sitúa en torno al 30% del volumen poroso. En los suelos arcillosos, sin embargo, puede llegar a representar tan sólo el 5%, lo que resulta insuficiente para la mayoría de los cultivos. (Jordán, 2005).

Los macroporos son los responsables de la circulación del agua, sobre todo cuando está en exceso, y del aire en el suelo, en tanto que los microporos son los encargados de almacenar agua dentro del mismo. De las consideraciones anteriores se deduce que, más importante que conocer la porosidad total del suelo, es conocer la distribución de los poros de diferentes tamaños. La proporción en que se encuentren los diferentes tamaños es la que controla las relaciones fundamentales entre las fases sólida - líquida - gaseosa, influyendo grandemente en cualidades edáficas como drenaje, infiltración, almacenamiento de agua, aireación, temperatura (Jaramillo, 2002).

Para agrupar los poros del suelo, de acuerdo al tamaño que presenten, se han propuesto varias clasificaciones, como la que puede verse en la Tabla 1, (Soil Survey Division Staff, 1993; citado por Jaramillo, 2002).

Tabla 1. Clasificación de los poros del suelo, según su tamaño, (SSDS, 1993; citado por Jaramillo, 2002).

Tipo de poros	Diámetro (mm)
Muy grueso	>10
gruesos	10--5
Medios	5--2
Finos	2--0,5
Muy finos	<0,5

Además Jaramillo (2002) sugiere aceptar como buena una porosidad total promedio de alrededor del 50% y Kaurichev (1984) citado por Jaramillo clasifica la porosidad como se muestre en la tabla 2.

Tabla 2. de la porosidad total del suelo (Kaurichev, 1984)

Porosidad Total	Calificación
>70	Excesiva
55-70	excelente
50-55	satisfactoria
40-50	baja
<40	muy baja

Por otra parte según Cisneros (2003) los valores de la porosidad fluctúan alrededor de los porcentajes siguientes:

30% para las arenas

50% para las texturas francas

65% para las arcillas.

También afirma que para el crecimiento adecuado de las plantas es más importante el tamaño de los poros que el espacio poroso total, esto es, debido al tamaño de raíces (8 a 12 micrones) las cuales en poros grandes se desarrollarán mejor.

El mejor balance de retención de agua (micro poros) más el adecuado movimiento de aire y agua (macro poros) está en suelos de textura media como los francos.

3.1.2.5 Densidad del suelo

La densidad de un material se define como el peso que tiene dicho material, por unidad de volumen. En el suelo, por ser éste un cuerpo poroso, se presentan dos situaciones diferentes con respecto a la densidad: si se considera la masa de las partículas sólidas, únicamente, se tiene la densidad real, si se tiene en cuenta su organización, entonces se tiene la densidad aparente (Jaramillo, 2002).

3.1.2.5.1. Densidad aparente

La densidad aparente, es la medida en peso del suelo por unidad de volumen (g/cc), se analiza con suelos secados al aire o secados en la estufa a 110°C. La densidad aparente está relacionada con el peso específico de las partículas minerales y las partículas orgánicas así como por la porosidad de los suelos. Si se considera cierto volumen de suelo en sus condiciones naturales, es evidente que solo cierta proporción de dicho volumen está ocupada por el material del suelo (Aguilera, 1989; citado por Huerta, 2010). El resto lo constituyen espacios intersticiales que, en condiciones ordinarias de campo, están ocupados en parte por agua y en parte por aire. El peso de la unidad de volumen de suelo con espacios intersticiales es lo que da la densidad aparente (Wooding, 1967; citado por Huerta, 2010). Se calcula teniendo en cuenta el espacio ocupado por los poros al cuantificar el volumen de la muestra de suelo, razón por la cual depende de la organización que presente la fracción sólida del mismo y está afectada por su textura, su estructura, su contenido de materia orgánica, su humedad (en especial en suelos con materiales expansivos) y su grado de compactación, principalmente. En términos prácticos, es la densidad que tiene la tierra fina del suelo, con la organización que ella posea (Jaramillo, 2002).

Un contenido elevado de materia orgánica en el suelo influye positivamente al hacer descender la densidad aparente. Las causas que aduce son dos, por una parte, porque la materia orgánica es más ligera que la materia mineral y, en segundo lugar, porque incrementa la porosidad (Llorca 1991; citado por Blanco, 2000).

El volumen aparente incluye a las partículas sólidas y el espacio poroso. (Malagon, 1990; citado por Reyes, 2010). Los suelos situados en el rango de valores entre 1.1-1.3 gr/cm³ se consideran bajos; un suelo está compacto cuando poseen valores de densidad aparente mayores de 1.8 gr/cm³, (Pacheco, 1980, PLA, 1997 citados por Reyes 2010). Por otra parte la densidad aparente es un parámetro que depende estrechamente del contenido de humedad en el suelo (Blanco, 2000).

También Cisneros (2003) considera que Los valores de la densidad aparente varían en función de las propiedades de los suelos fundamentalmente con la textura y el contenido de materia orgánica. Sin embargo como valores medios se tienen los siguientes:

Arenas 1.4 - 1.6 gr/cm³

Francos 1.3 - 1.4 gr/cm³

Arcillas 1.1 - 1.3 gr/cm³

Suelos orgánicos 0.7 - 1.1 gr/cm³

Tabla 3. Valores medios de densidad aparente (Jaramillo 2002)

$\rho^b = \frac{M_s}{V_T}$	Horizontes arenosos	1450-1600 kg m ⁻³
	Horizontes arcilloso con estructura	1050-1100 kg m ⁻³
	Horizonte compactos	1900-1950 kg m ⁻³
	Horizonte suelo volcánico	850 kg m ⁻³
	Valor medio	1350 kg m ⁻³
	Horizonte turboso	250 kg m ⁻³

En la tabla 4 por otra parte se puede ver la relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo usada (USDA, 1999).

Tabla 4. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, con base en la textura del suelo (USDA 1999) citado por (Meléndez, 2012).

Textura del suelo	Densidad aparente ideal (g/cm³)	Densidad aparente que pueden afectar el crecimiento de raíces	Densidad aparente que restringen el crecimiento de las raíces (g/cm³)
Arena, Areno-franco	< 1,60	1,69	>1,80
Franco-Arenoso, Franco	<1,40	1,63	>1,80
Franco-Arcillo-arenoso, Franco, Franco	<1,40	1,6	>1,75
Limosa, Franco-limosa	<1,30	1,6	>1,75
Franco-limoso, Franco-arcilloso-limoso	<1,40	1,55	>1,65
Arcillo-arenoso, arcillas-limosas,	<1,10	1,39	>1,47
Arcilloso(>45% de arcillas)	<1,10	1,39	>1,47

3.1.2.5.2. Densidad real. (Dr)

Como se dijo anteriormente, la densidad real es el peso de las partículas sólidas del suelo, relacionado con el volumen que ocupan, sin tener en cuenta su organización en el suelo, es decir, sin involucrar en el volumen el espacio ocupado por los poros; se deduce, entonces, su dependencia de la composición mineral del suelo y del contenido de algunos sólidos especiales en él, como la materia orgánica y los óxidos de hierro. Las densidades correspondientes a algunos silicatos y óxidos comunes en el suelo. En ella se puede apreciar la alta variabilidad que puede presentarse en la densidad real del mismo, si cambian la composición mineralógica y/o la proporción en que se presentan los diferentes minerales (Jaramillo, 2002).

Un medio de expresión del peso del suelo se manifiesta según la densidad de las partículas sólidas que lo constituye. Normalmente se define como la masa (o peso) de una unidad de volumen de sólidos del suelo y es llamada densidad de la partícula; aunque pueden observarse variaciones considerables en la densidad de los suelos minerales, individuales; la mayor parte de los suelos normales varían entre los límites estrechos de 2,60 a 2,7 g/cc. Debido a que la materia orgánica pesa mucho menos que un volumen igual de sólidos minerales, la cantidad de ese constituyente en un suelo afecta marcadamente a la densidad de partículas. Como consecuencia, los suelos superficiales poseen generalmente una densidad de partículas más baja que la del subsuelo. La densidad más alta en estas condiciones, suele ser de 2,4g/cc. También se le define como el peso de un volumen conocido comparado con el peso de volumen igual de agua (Buckman y Brady, 1966; citados por Huerta 2010). Los valores más comunes se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Valores de densidades reales para algunos elementos (Jaramillo, 2002)

$\rho_s = \frac{M_s}{V_s}$	Minerales de arcilla	2000-2650 kg m ⁻³
	Cuarzo, Feldespato	2500-2600 kg m ⁻³
	Minerales con elementos metálicos	4900-5300 kg m ⁻³
	Horizontes minerales	2600-2750 kg m ⁻³
	Horizontes orgánicos	1100-1400 kg m ⁻³
	Horizontes ricos en minerales pesados	2750 kg m ⁻³
	Valor medio para suelos minerales	2650 kg m ⁻³

3.1.2.6. La fase líquida del suelo

3.1.2.6.1. El agua del suelo

El agua del suelo transporta nutrientes en disolución, sales solubles, compuestos orgánicos solubles y contaminantes, así como materia en suspensión, y permite su absorción por las raíces. Desde el punto de vista de la fertilidad física, la humedad del suelo controla su consistencia, penetrabilidad por las raíces, temperatura, etc. De esta

forma, el adecuado manejo de suelo requiere un conocimiento de la dinámica del agua en el suelo. Además, el agua condiciona la mayoría de los procesos de formación del suelo (Jordán, 2005).

3.1.2.6.2. Contenido de humedad del suelo

La cantidad de agua que posea el suelo es una de sus características más específicas y está determinada, fundamentalmente, por su textura, su contenido de materia orgánica, la composición de su fracción mineral y orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico, por el aporte que se le haga natural (lluvia) o artificialmente (riego) de ella, así como por el consumo causado por la evapotranspiración. Con respecto a la influencia que tiene el contenido de coloides (arcilla y humus) sobre el contenido de humedad del suelo, la cantidad de agua en el suelo aumenta linealmente al aumentar su contenido de arcilla y/o de materia orgánica, conservándose constantes las fuerzas de retención (Jaramillo, 2002).

La humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, succión total de agua y color del suelo. La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil. Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo (Flores & Alcalá, 2010).

Debido a que el agua del suelo se adhiere a las partículas sólidas del mismo, hay una estrecha relación entre la cantidad de agua que estas son capaces de retener y su composición (Jury et al., 1991 citados por Jaramillo, 2002).

3.1.2.6.3. Curva de retención de agua

Según Nielsen y Wendroth (2003) citados por Garcia y Medina (2009). La curva de retención de humedad, es la más importante de todas las propiedades hidráulicas. Su conocimiento es necesario en estudios de disponibilidad de agua para las plantas,

infiltración, drenaje, distribución de poros, conductividad de agua, movimiento de solutos y su distribución espacial. En su determinación se emplean tanto métodos directos como indirectos. Relacionado con los métodos directos su mayor inconveniente ha estado asociado a los costos en materia de tiempo, esfuerzo y recursos que requieren. Es por ello que los métodos indirectos surgen como una evolución natural para dar solución a esos inconvenientes.

También Gómez (2009) considera que debido a que la curva de retención de agua en suelos describe la relación que existe entre el contenido agua de un suelo y la fuerza con la que ésta es retenida. Es una propiedad muy importante de los suelos y es muy útil para caracterizar la capacidad de un suelo en particular regular, lo que directamente está relacionado con la cantidad de plantas que éste puede soportar y el porcentaje de aireación que puede tolerar.

Los suelos son un medio particulado y poroso. Se definen como un material constituido por una fase sólida o matriz y unos espacios, intersticios o poros, los cuales pueden estar ocupados por fluidos ya sean en estado líquido o gaseoso, siendo los más comunes el agua y el aire respectivamente (Bear, 1972; citado por Gómez, 2009).

Por otra parte el método indirecto más empleado lo constituyen las funciones de pedotransferencia (PTFs), en las cuales se lleva a cabo la estimación de la curva de retención de humedad a partir de otras propiedades disponibles o más fácilmente medibles. La mayoría de las PTFs más difundidas en la literatura han sido derivadas empleando extensas bases de datos de suelos templados, las cuales involucran propiedades tales como textura, la materia orgánica y la densidad aparente (García y Medina 2009).

3.1.2.6.4. Constantes de humedad del suelo

Según Jaramillo (2002) De acuerdo con las fuerzas de retención que están actuando sobre la humedad del suelo, se han definido, ciertos estados y límites de humedad de uso corriente en edafología. Los que se usan más frecuentemente son los siguientes:

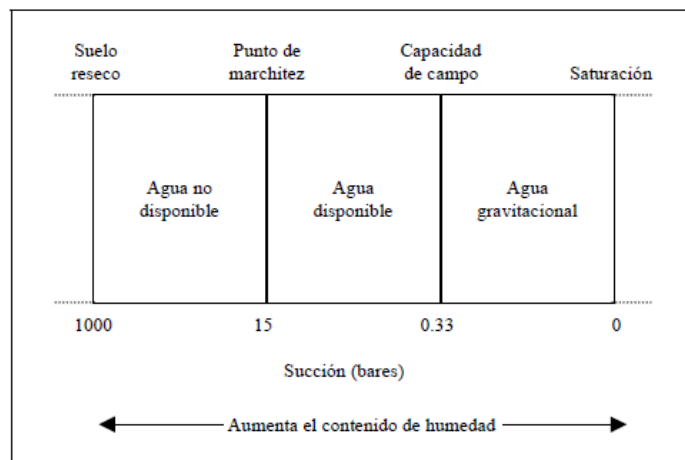


Figura 3. Clases de agua en el suelo

Coefficiente higroscópico: contenido de humedad que retiene el suelo cuando se seca al aire; esta humedad es retenida a una tensión de -30 atm, aproximadamente.

Punto de marchitez permanente: contenido de humedad del suelo al cual la planta se marchita irreversiblemente; el agua del suelo en este punto, está retenida a -15 atm, aproximadamente.

Capacidad de campo: es el contenido de humedad con que queda el suelo, luego de que sus mesoporos han drenado completamente; se llega a esta condición de humedad luego de dejar drenar el suelo saturado, entre 48 y 72 horas; el agua en esta condición está retenida a tensiones comprendidas entre -0.1 y -0.3 atm.

Agua aprovechable: Es la humedad que presenta el suelo retenida entre el punto de marchitez permanente y la capacidad de campo.

3.1.2.6.5. Capacidad de retención de agua para riego y drenaje

Para porta (2003) uno de los conceptos útiles en determinadas aplicaciones de riego por gravedad, es el de capacidad de retención de agua disponible (CRAD) para las plantas. Este se basa en una clasificación biológica del agua del suelo que se considera como disponible para las plantas el agua retenida entre dos situaciones que algunos autores han considerado de “equilibrio”, entre la capacidad de campo y el punto de

marchitez permanente, no obstante se ha podido comprobar que el punto de marchitamiento permanente varía con la planta y con factores de medio, para estimación general se considerará el punto de marchitez permanente para puntos de succión mayores a las 15 atmosferas (Cisneros, 2003) .

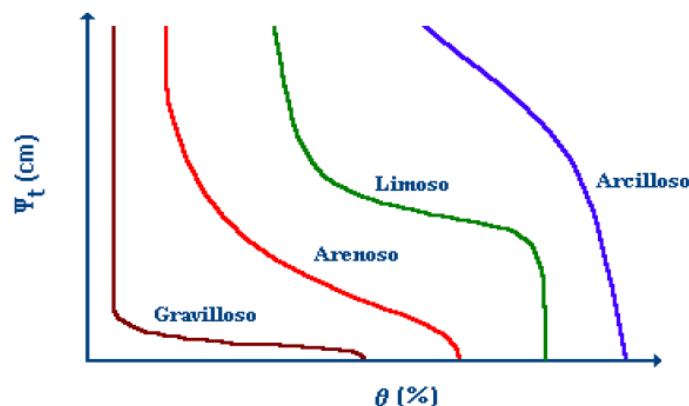


Figura 4. Efecto teórico de la textura sobre el comportamiento de la curva de retención de humedad del suelo (Generalizada de Stephens, 1996 citado por Jaramillo 2002).

3.2. Herramientas para el procesamiento y análisis de los datos.

3.2.1. Sistemas de información geográfica (SIG).

Un SIG se puede definir como aquel método o técnica de tratamiento de la información geográfica que permite combinar eficazmente información básica para obtener información derivada; es una herramienta capaz de combinar información gráfica (mapas) y alfanumérica (estadísticas) para obtener una información derivada sobre el espacio (López, 2011 citado por Pinchao 2013).

Los SIG, cuyos antecedentes datan de varias décadas atrás, se han posicionado como una tecnología básica, imprescindible y poderosa, para capturar, almacenar, manipular, analizar, modelar y presentar datos espacialmente referenciados (Moreno, 2007 citado por Pinchao 2013).

La importancia de los SIG radica en la asociación de información descriptiva (atributos) con información geográfica. Con la utilización de los SIG se tienen los beneficios de poder realizar operaciones de bases de datos, visualización de información espacial y análisis geográfico. Dichos beneficios nos permiten responder a preguntas espaciales que con otro tipo de sistemas sería más difícil responder. Los SIG contribuyen a la toma de decisiones y resolución de problemas (Jiménez, 2010 citado por Pinchao 2013).

3.2.2. RETC

RETC (RETention Curve), fue desarrollado por van Genuchten, Leij y Yates dentro del Laboratorio de Salinidad de U.S.A., Departamento de Agricultura. El programa usa los modelos paramétricos de Brooks-Corey y van Genuchten, para representar las curvas de retención de agua del suelo, y los modelos de distribución teórica del tamaño de poros de Mualem y Burdine para determinar la función de conductividad hidráulica en función de los datos observados de retención de agua del suelo. El programa también permite un ajuste analítico simultáneo de los datos observados de retención de agua y conductividad.

Por otra parte RETC incluye una valuación directa de las funciones hidráulicas cuando los parámetros del modelo son conocidos, también incluye una forma más flexible para introducir los parámetros para los procesos de optimización y la posibilidad de evaluar los parámetros del modelo de los datos observados de conductividad y retención de agua (Genuchten y Yates, 1991).

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Realizar la caracterización física del suelo de la Granja Agrícola de la Universidad del Valle, Ciudad universitaria Meléndez

4.2. ESPECÍFICOS

- Determinar las características físicas (Textura, Estructura, Porosidad del suelo, Densidad Aparente, Densidad Real, Contenido de humedad del suelo, Capacidad de campo, y Punto de marchitez permanente, La curva de retención de humedad) de los suelos.
- Realizar la interpretación cualitativa de los suelos en sus características físicas con valores estándar establecidos.
- Elaboración de mapas del terreno que permitan el análisis y valoración de la distribución espacial de las características del suelo estudiadas.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Ubicación

El proyecto se trabajó en la granja experimental laboratorio de suelos de la universidad del valle (figura 5), ubicado en un lote en el campus de la universidad con un área de 0,125 ha, se encuentra localizado a una altitud de 976 metros sobre el nivel del mar y sus coordenadas geográficas son 3° 32'22" N y 76° 31'57" W. Las condiciones climáticas medias anuales son: temperatura de 28°C y precipitación de 900 mm. El área del estudio se encuentra ubicada en la parte trasera del laboratorio de suelos y aguas de la universidad y se utiliza para las prácticas de campo, su pendiente es menor al 1%.



Figura 5. Vista general área de estudio de la granja agrícola de la universidad del valle
(Fuente: Googlemaps.com)

5.2. Diseño del muestreo.

Para el diseño experimental se utilizó una grilla rectangular de 5x5 metros de separación como se muestra en la figura (6), tomando muestras al azar. Como unidad experimental se seleccionaron 45 puntos a los cuales se les determinó textura,

densidad aparente, densidad real, porosidad, humedad, curva de retención de humedad. Cada punto de muestreo fue geo-referenciado con GPS.

5 ○	6 ○	15 ○	16 ○	25 ○	26 ○	35 ○	36 ○	45 ○
4 ○	7 ○	14 ○	17 ○	24 ○	27 ○	34 ○	37 ○	44 ○
3 ○	8 ○	13 ○	18 ○	23 ○	28 ○	33 ○	38 ○	43 ○
2 ○	9 ○	12 ○	19 ○	22 ○	29 ○	32 ○	39 ○	42 ○
1 ○	10 ○	11 ○	20 ○	21 ○	30 ○	31 ○	40 ○	41 ○

Figura 6. Distribución espacial puntos de muestreo.

5.2. Toma de datos y métodos de determinación

5.2.1. Descripción del perfil

Para la caracterización del suelo se tuvieron en cuenta las características generales del mismo, y las del área, altitud, posición relativa (Georreferenciada), la litología de las capas superficiales y reconocimiento partiendo de las muestras tomadas del suelo con barreno. Dado que es una zona experimental los cultivos que allí se siembran son generalmente de raíces poco profundas, se seleccionó la profundidad de 30 cm, que corresponde al primer horizonte del suelo; el terreno en el momento de la toma de muestras se encontraban desprovisto de cultivos y predominaban pasturas que eran removidas cada 3 meses mediante guadañadora, como método de jardinería y control de plagas. Este lugar fue escogido con el fin de determinar sus propiedades, y la influencia de estas en la fertilidad natural del suelo de esta área experimental.

5.2.2. Preparación del terreno.

Previo a la toma de datos, el terreno se hizo guadañar para que se hiciera más fácil la recolección de muestras además esto permitía que las raíces de los pastos fueran más cortas e influyeran menos en las propiedades del suelo como densidad y porosidad. La zona se delimitó mediante GPS al igual que cada punto experimental fue asociado una georreferenciación particular de coordenadas.

5.2.3. Propiedades físicas del suelo

Todas las propiedades físicas del suelo se determinaron en el primer horizonte (horizonte A) que se definió a partir de la excavación mediante calicata, con una profundidad entre los 0 y los 30 cm. La grilla de muestreo que contaba con 45 puntos georreferenciados, cada punto a una distancia de 5 metros en la horizontal y la vertical, a distancias de 5, 10, 15, 20, 25, en la vertical y de los 5 hasta los 45 metros en la horizontal. Para la determinación de la textura se procedió a tomar una muestra compuesta en cada punto del suelo que fuera representativa. Para las variables porosidad (macroporosidad y microporosidad), densidad aparente, se tomaron muestras en el mismo punto georreferenciado a profundidades de 10, 20, 30 cm, para la variable densidad real se tomó una muestra de suelo unificada en cada uno de los puntos georreferenciados. Las curvas de humedad se determinaron de manera indirecta mediante el uso del programa RETC haciendo uso de los datos de textura y densidad aparente obtenidos de las pruebas de laboratorio en campo. Estas muestras se procesaron en el Laboratorio de Aguas y Suelos Agrícolas (LASA) de la Universidad del Valle. La figura (7) muestra la forma de extracción de muestras en cada punto georeferenciado.



Figura 7. Esquema de extracción de muestras en campo.



Fotografía 1. Toma de muestras en campo (Meléndez 2012)

A continuación la tabla 2, presenta los métodos utilizados en el laboratorio o en campo para la determinación de los valores de cada variable respuesta.

Tabla 6. Métodos de determinación de las variables físicas de respuesta

Tipo	Variable	Unidad	Método
Propiedades Físicas	Textura		Bouyucos
	Densidad aparente	g.cm^{-3}	Cilindro
	Densidad real	g.cm^{-3}	Picnómetro
	Porosidad total	%	Caja de arena
	Macroporosidad	%	Caja de arena
	Microporosidad	%	Caja de arena
	Curva de humedad		Determinación indirecta mediante el programa RETC



Fotografía 2. Determinación de densidad real



Fotografía 3. Determinación de textura



Fotografía 4. Determinación densidad, y porosidad.

5.2.3.1. La densidad aparente:

Es uno de los factores más importantes del suelo porque puede ser indicador de deterioro físico en él y porque es la que se usa para hacer los cálculos que involucran su peso, la determinación de la densidad aparente se realizó mediante el método de cilindro biselado.

Se encajó el cilindro en la porción del suelo a muestrear, siempre teniendo la precaución de introducir completamente el cilindro y hacerlo de forma que se disturbe lo menos posible la muestra, posteriormente se retiró el cilindro lleno con suelo como se ve en la (fotografía 1), se enrazaron sus bordes con un bisturí, y se trasladó al laboratorio, para ser depositado sobre la cama de arena como se muestra en la (fotografía 4). Para cada punto se tomaron tres muestras que permitieran tener los valores de densidad para tres profundidades diferentes, y se colocaron a secar en el horno a 105 grados durante 24 horas, al cabo de las cuales se retiraron las muestras del horno, se retiró el suelo del cilindro y se tomó su peso, (Pc) además del cilindro se toman las medidas de longitud y diámetro interno con los cuales se calcula el volumen interno, se determinó también el peso del suelo seco al horno (Pss) restándole al peso del conjunto (Pt) el peso del cilindro (Pc) y se calcula la densidad aparente utilizando la formula

$$V_c = \frac{h\pi d^2}{4}$$

La densidad aparente será igual a

$$D_a = \frac{P_{ss}}{V_c}$$

5.2.3.2. Densidad Real.

Para la determinación de la densidad real se utilizó el método del picnómetro (ver Anexo 6), para la determinación de la densidad real en el laboratorio mediante este método se hicieron necesarios los siguientes materiales:

Picnómetros de 25 ml

Desecador al vacío

Bomba de vacío

Balanza analítica

Suelo tamizado (2 mm) y seco en estufa (105° C)

El Procedimiento para la determinación de la densidad real consistió según la guía de laboratorio en los siguientes pasos:

Se pesó un picnómetro limpio y seco (Ps), de 50 ml, en una balanza analítica, se pesaron además 2 gramos de suelo seco al horno a 105°C durante 24 horas y tamizado a través de un tamiz de 2 mm, el picnómetro se llenó de agua destilada y se pesó nuevamente en la balanza analítica (Pw) posteriormente se extrajo del picnómetro la mitad del agua y se le agrego el suelo, teniendo cuidado de no perder ninguna cantidad del material en el proceso; Haciendo uso de una bomba de vacío como se ve en la fotografía (2) se extrajo el aire que permanecía atrapado por el suelo agregado al agua destilada en el picnómetro, repitiendo el vacío hasta que no quedara aire en la muestra. Posteriormente, se completó el picnómetro con agua destilada. Se secó la superficie externa y se pesó nuevamente en la balanza analítica.

5.2.3.3. Porosidad

Debido a que la porosidad total del suelo depende de las características de su fracción sólida, ella se estimó con base a los resultados de laboratorio.

$$P = \frac{(\text{Peso Saturado (Pt)} - \text{Peso seco (Pss)})}{\text{Volumen cilindro}} * 100$$

Dónde:

P: Porosidad total: %.

Para la determinación de la porosidad del suelo, se tomaron muestras sin disturbar del suelo con cilindros metálicos de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro, en el laboratorio se colocó el extremo inferior de cada uno de los cilindros en una cubierta de lienzo sencilla, amarrada con una banda de goma, posterior a esto los cilindros se pusieron a saturar por capilaridad en una cama de arena, con soporte de malla, de manera que el agua alcanzara a subir hasta la mitad del cilindro desde el fondo, aproximadamente, 2,5 cm, y se dejó saturar por 24 horas, luego de las 24 horas, se revisó que la superficie expuesta del suelo en el cilindro, presentara brillo, lo que sería un indicador de una saturación completa, se extrajo de la cama de arena y se pesó, el peso del cilindro saturado con agua es el peso total (Pt). Para determinar el peso a capacidad de campo el frasco nivelador de la cama de arena se baja a un nivel inferior de 97.5 cm para que se ejerza una succión de 1 atmosfera, deja drenando por 48 horas hasta que alcance el equilibrio, se tomaron entonces los pesos de las muestras a capacidad de campo, es decir el peso del suelo aun húmedo (Psh). El peso del suelo seco (Pss) se tomó después de colocar las muestras al horno a 105°C durante 48 horas, la densidad real del suelo se calcula previamente para cada uno de los puntos de muestreo.

Para calcular el volumen de microporos se usó la formula desarrollada por Pizarro.

$$m = q_{cc}$$

$$m = \Theta_{cc} \quad (\text{Pizarro, 1978, citado por Jaramillo 2002})$$

Donde Θ_{cc} = humedad volumetrica a capacidad de campo

$$\Theta_{cc} = W_{cc} * D_a$$

W_{cc} = porcentaje de humedad a capacidad de Campo

D_a = Densidad aparente

Calculando la microporosidad, la macroporosidad puede calcularse por diferencia con la porosidad total, según la relación:

$$M = P - m$$

Donde M el volumen de macroporos en % (Jaramillo, 2002).

5.2.3.4. Porcentaje de humedad a capacidad de Campo.

Para la determinación del porcentaje de humedad a capacidad de campo, se partió de los datos obtenidos en laboratorio para las pruebas de Densidad aparente, debido a que estos permitieron obtener los datos de humedad a capacidad de campo, partiendo de diferencias de peso. Este porcentaje de humedad se obtuvo luego de permitir a los macroporos drenar completamente, posterior a la saturación en la cama de arena, es el contenido de humedad con que queda el suelo; se llega a esta condición de humedad luego de dejar drenar el suelo saturado, entre 48 y 72 horas; el agua que permanece en el suelo está retenida a tensiones comprendidas entre -0.1 y -0.3 atm.

Se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$W(\%) = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} * 100$$

$$P_{sh} = P_{csh} - P_c$$

$$P_{ss} = P_{css} - P_c$$

Esta humedad se expresó como humedad volumétrica (θ), partiendo de la siguiente relación:

$$\theta\% = \frac{W(\%) * D_a}{\rho_w}$$

Donde ρ_w es la densidad del agua (Jaramillo, 2002).

5.2.3.5. Textura

Para la determinación de esta característica se procedió por el método de sedimentación, usando el método del hidrómetro o de Bouyucos, este consiste en

determinar los porcentajes en que se encuentran los separados del suelo basado en la ley de Stokes, la cual establece que la velocidad de caída de partículas pequeñas, en un medio líquido, es directamente proporcional a su tamaño. El procedimiento con este método se desarrolló de la siguiente manera:

Se tomaron muestras en cada uno de los puntos georreferenciados del campo (Ver Anexo 4), para la toma de la muestra se utilizó un pálin, bolsas, plásticas, y pala, la muestra para el análisis de textura son muestras disturbadas, de estas se pesaron 50 gramos de suelo seco al aire, este suelo se cernió por un tamiz de 2 mm, se tomó así debido a que las muestras del suelo no eran arenosas. Posterior a esto se colocó en suelo en el vaso de una batidora especialmente diseñada para no moler el suelo, se le agregaron 20 mL de dispersante y se batió durante 10 minutos. Luego de se transfirió la muestra al interior de una probeta graduada de 1000mL, se lavó el vaso con agua destilada y se completó el volumen de la probeta hasta su volumen permitido como se puede apreciar en la fotografía (3), esta solución se agito vigorosamente, con un émbolo de caucho, y se dejó reposar tomando registro del tiempo justo en el momento en que se retira el émbolo, a los 40 segundos de iniciado el reposo, es decir de retirar el émbolo se hizo la primera lectura con el hidrómetro, apuntando además la temperatura que tiene la suspensión en ese momento; la temperatura de la solución posteriormente será útil para el cálculo de la correcciones; Esta lectura permite calcular el porcentaje de arena (A%), las lecturas del hidrómetro corresponden a la cantidad de material solido que se encuentra en suspensión, a la altura del centro del volumen del hidrómetro, en gL^{-1} , es decir, mide una densidad. Al terminar la lectura a los 40 s, se retiró el hidrómetro y se dejó en reposo la suspensión hasta completar las dos horas. Al cabo de éstas, se tomó nuevamente la lectura del hidrómetro y se hizo otra lectura de temperatura; con estas lecturas se calculó el contenido de arcilla (Ar%), el contenido de limo por otra parte se calculó haciendo una diferencia entre el contenido total y el contenido de arenas más arcillas.

Los resultados se analizaron mediante el cuadro textural propuesto por la USDA (1999).

Para la determinación de los contenidos de los separados del suelo

$$A\% = 100 - \frac{\text{Lectura corregida a los 40 segundos} \times 100}{\text{peso de la muestra}}$$

Lectura corregida = lectura tomada + factor de corrección de temperatura

$$Ar\% = 100 - \frac{\text{Lectura corregida al cabo de las 2 horas} \times 100}{\text{peso de la muestra}}$$

$$\text{Limo} = L \% = 100 - A\% + Ar \%$$

5.2.3.6. Curva de retención de humedad.

Para la determinación de la curva de humedad se hizo uso del software RETC que permite la determinación de este parámetro mediante el modelo Rosseta, para el cual se usan como variables de entrada las fracciones texturales y la densidad aparente



Figura 8. Interfaz Software RETC

RETC es una herramienta computacional que puede ser utilizado para analizar la retención de agua del suelo y las funciones de conductividad hidráulica de los suelos insaturados. El programa utiliza los modelos paramétricos de Brooks-Corey van Genuchten, el modelo lognormal distribución de Kosugi, y el modelo de doble permeabilidad de Durner para representar la curva de retención de agua del suelo (Vangenuchten y Yates, 1991). La aplicación de Rosetta, puede proporcionar predicciones ajustadas de los parámetros hidrodinámicos para rangos de succión cerca de la capacidad de campo.

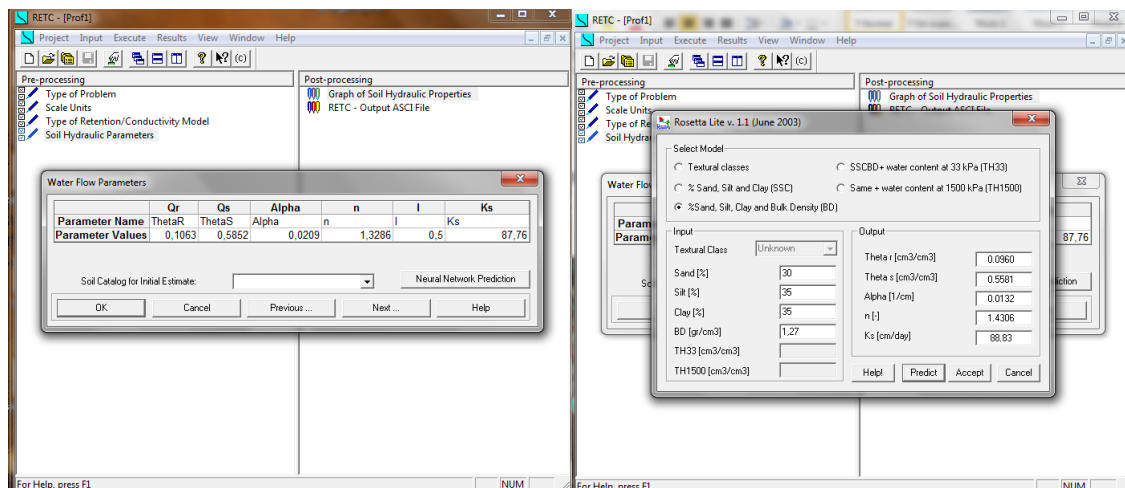


Figura 9. Ingresos de las variables al software

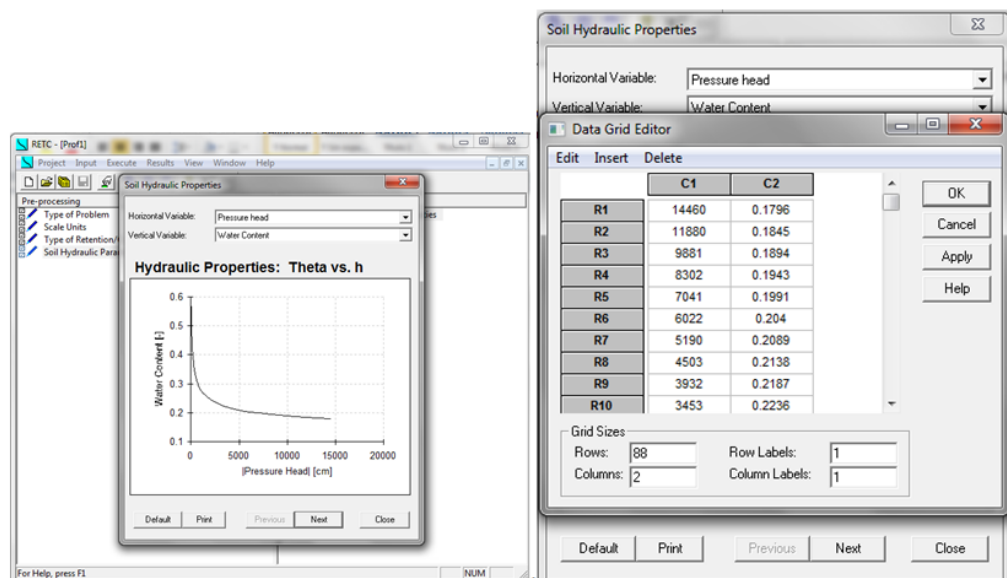


Figura 10. Determinación curva caracterizticas de humedad

5.2.4. Generación de los mapas de propiedades físicas del suelo.

Para la elaboración de los mapas de propiedades del suelo se empleó el paquete informático ArcGis 10.1 que constituye una herramienta muy útil dentro de los Sistemas de Información Geográfica para el análisis espacial de diferentes parámetros, para este estudio fue necesario para analizar espacialmente los datos obtenidos de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y las propiedades agronómicas

del cultivo a través de métodos de interpolación espacial, en este caso se empleó el método de interpolación Spline.

5.2.4.1. Descripción del método Spline.

Este método funciona bajo la estimación de valores usando una función matemática que reduce al mínimo la curvatura de la superficie total, dando como resultado, una superficie lisa que pasa exactamente a través de los puntos muestreados.

Existen dos métodos Spline: Regularized y tensión.

Regularized: Este método crea una superficie suave, de manera gradual cambiando la superficie con los valores que pueden estar fuera de la gama de datos de la muestra.

Tensión: El método de Tensión suaviza la rigidez de la superficie según el carácter del fenómeno modelado. Esto crea la superficie lisa con valores estrechamente obligados por la gama de datos de la muestra (Pinchao, 2013).

Para el caso particular de estudio fue utilizado el método tensión para la elaboración de los mapas de propiedades del suelo.

El programa ArcGis por otra parte permite modificar en el momento de la interpolación el referente weight o peso, el cual define el suavizado de las superficies a interpolar, no obstante un cambio demasiado brusco de los valores puede alterar los rangos en cada zona interpolada, para evitar esto se decidió dejar los valores predeterminados en el programa (ver figura 11).

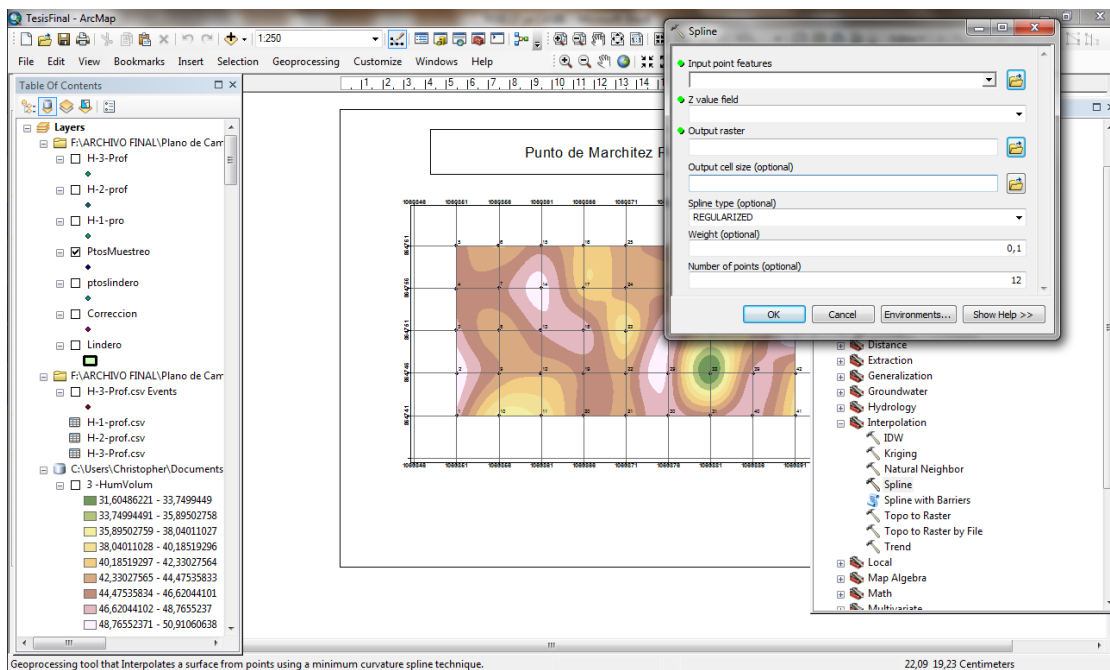


Figura 11. Generación de la distribución espacial de las propiedades analizadas

Esta opción hace parte del método Spatial Analyst del programa ArcGis 10.1, los mapas de las características físicas del suelo, se configuraron en base a las opciones por defecto del programa.

Con esta herramienta se generaron las superficies de distribución espacial de cada una de las propiedades en particular (Ver anexo 5), en estas se mantuvieron los rangos arrojados por el programa, por defecto.

5.2.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos se hizo uso de la estadística descriptiva para las variables estudiadas, con el fin de verificar si existía una relación entre los datos y eliminar valores atípicos. Para esto se utilizó la ayuda de software estadísticos como Minitab 15 y SPSS.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Textura

De acuerdo al análisis textural el perfil del suelo entre los 0-30 cm es de orden arcilloso y franco arcilloso, el análisis descriptivo de los datos obtenidos (ver anexo 1) permite observar una baja dispersión de los datos para los valores de arcilla, arena, y limo, teniendo como referentes coeficientes de variación menores al 10%, 7% y 12% respectivamente, además cada una de estas propiedades presentan similitudes entre los valores de media y mediana, aparte de valores de curtois cercanos a 0 para arena y limos, aunque mayores para los datos de arcilla.

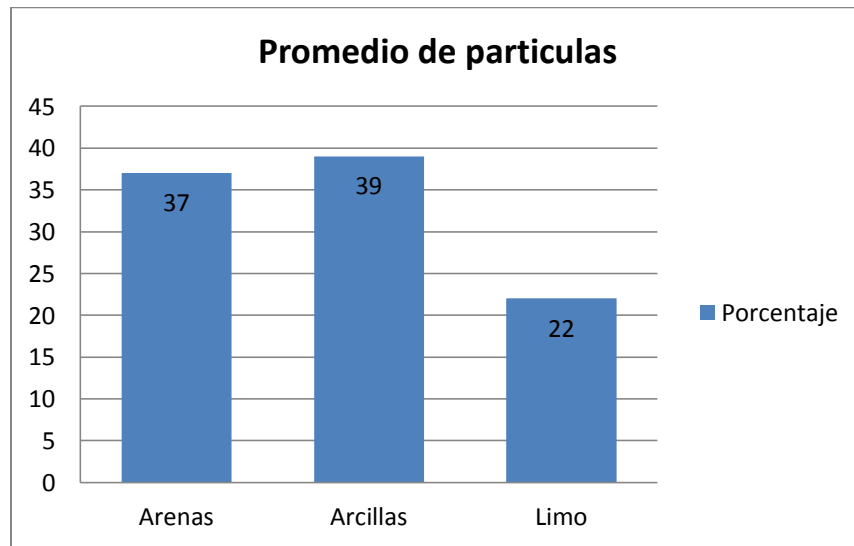


Figura 12, Distribución porcentual de la textura en el suelo

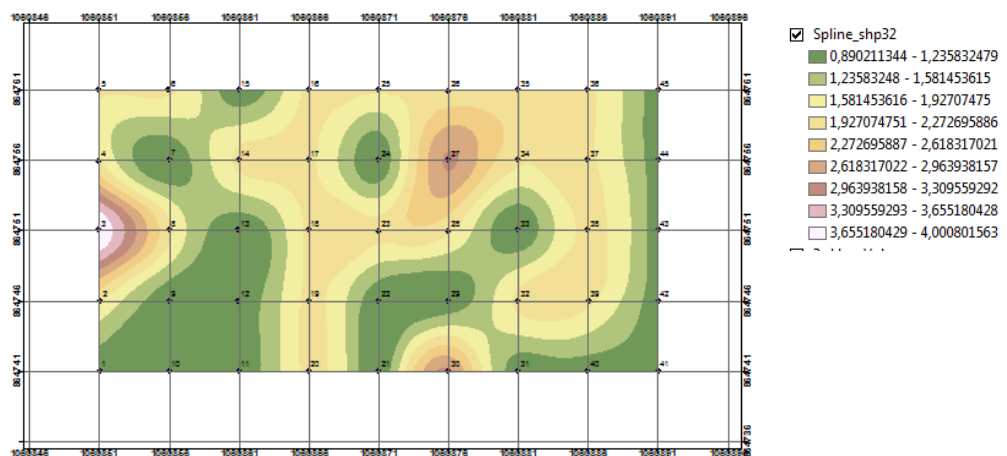


Figura 13. Distribución espacial de la fracción textura en el suelo

La figura 13 muestra la distribución de la fracción textural, para esta, los valores entre (0,89 - 1, 92) y entre (1,92 - 2,96) corresponden a texturas arcillosas y franco arcillosas respectivamente, por otra parte los valores de (2,96 -3,65) y (3,65-4) corresponde a texturas arcillo arenosas y franco arcillo arenosas respectivamente.

El elemento que presenta mayor presencia en el suelo de la granja es la arcilla 39% en promedio, con base en las determinaciones realizadas en los puntos de muestreo al suelo, y a los promedios generales de las partículas presentes en el, este podría considerarse en el límite entre arcilloso y franco arcilloso. Una de las características principales de este suelo, consiste en su capacidad de retener más agua y nutrientes debido a la naturaleza coloidal de sus partículas, también se puede afirmar que por el predominio de las arcillas en un mayor porcentaje tiene la capacidad de retener una gran cantidad de agua y nutrientes, no obstante algunos puntos del suelo presentaron un mayor contenido de arenas sin embargo no fueron significativos.

Según porta (2003) podemos esperar de que el suelo de la granja agrícola una fertilidad química alta debido a la predominancia de arcillas, esto dependiendo de la mineralogía, también una elevada capacidad de intercambio catiónico dependiendo de su mineralogía, este tipo de textura afecta positivamente CRAD del suelo haciéndola más alta, sin embargo afecta la permeabilidad pudiéndola hacer más dependiendo de la formación de pseudólimos, la microporosidad por otra parte tiende a ser alta, al igual que la compacidad (en seco) también un suelo con esta predominancia de arcillas puede presentar dificultad en la penetración de las raíces.

6.2. Densidad del suelo:

6.2.1. Densidad aparente

La tabla 7 presenta los rangos de valores que presenta la densidad del suelo para las diferentes profundidades analizadas en el estudio, además la figura (14) nos deja ver un aumento en el promedio de la densidad aparente a mayor profundidad del suelo.

Tabla 7. Densidad del suelo

Profundidad del suelo (cm)	Densidad aparente (g/ cm ³)		
	Mínimo	Máximo	Promedio
(0-10)	1,14	1,44	1,27
(10-20)	1,18	1,39	1,29
(20-30)	1,23	1,40	1,31

Partiendo del análisis descriptivo realizado (anexo 2), los resultados del análisis indican una baja dispersión de los datos obtenidos para cada profundidad, con un coeficiente variación menor al 5% para cada una de las profundidades, además de similitud entre los valores de media y mediana para cada profundidad, que confirman lo anteriormente expuesto. Se determinó que para la primera profundidad localizada entre los 0 y 10 cm el suelo presenta una densidad promedio del 1,27 g /cm³, la figura (15) muestra la distribución espacial de la densidad en el terreno. De igual manera para la profundidad considerada entre los 10-20 cm se obtuvo densidad promedio de 1,29 g/cm³. Y una distribución espacial como se muestra en la figura (16), finalmente otra parte para la tercera profundidad comprendida entre los 20-30 cm, se obtuvo una valor de densidad promedio de 1,31 g /cm³ y una distribución espacial que se presenta en la figura (17)

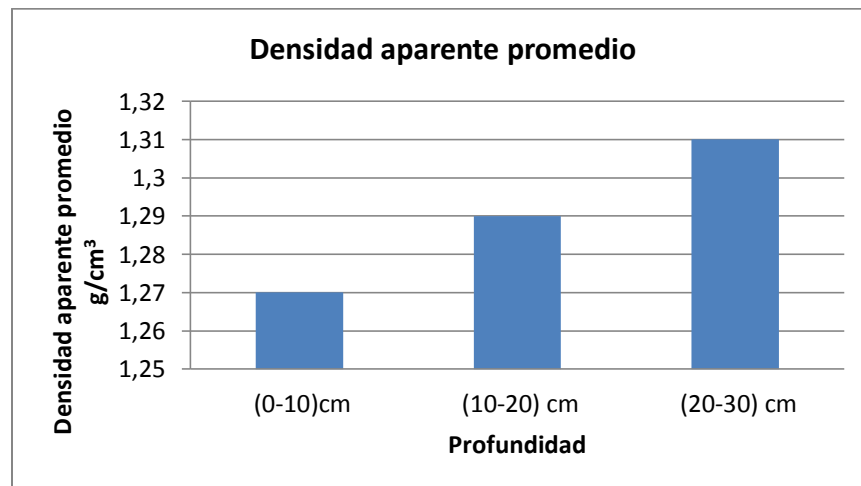


Figura 14. Distribución espacial de la densidad aparente entre los (0-10cm)

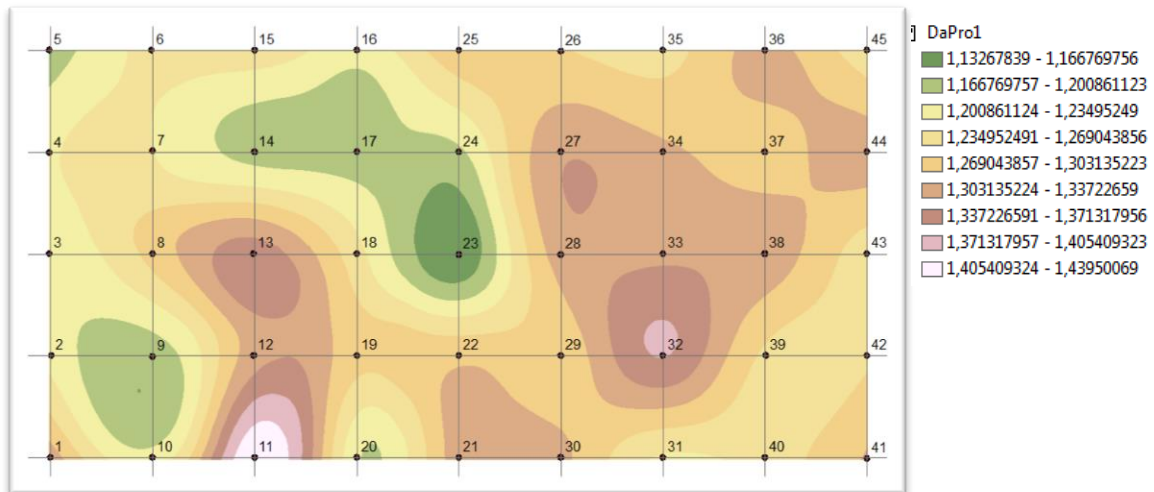


Figura 15. Distribución espacial de la densidad aparente entre los (0-10cm)

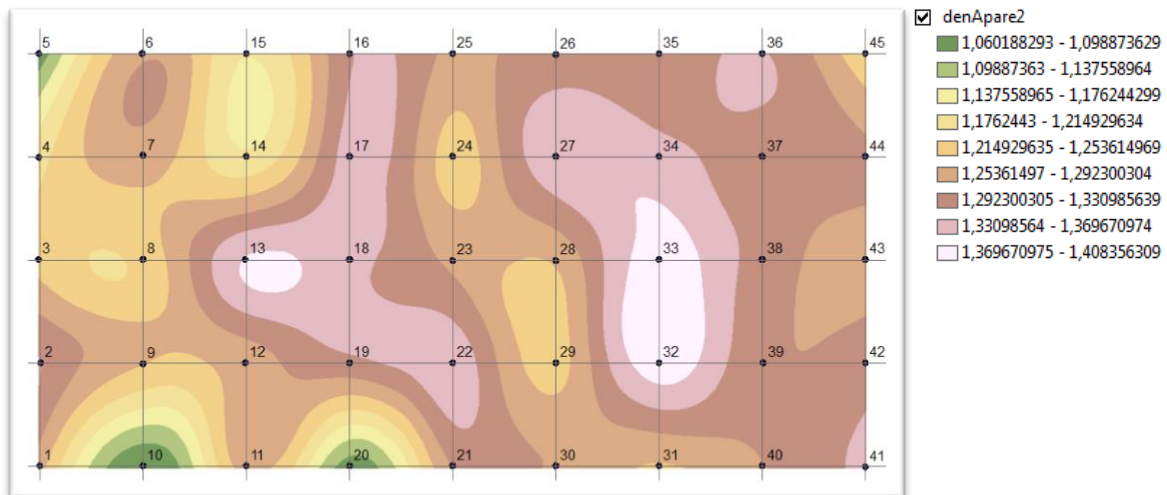


Figura 16. Distribución espacial de la densidad aparente entre los (10-20 cm)

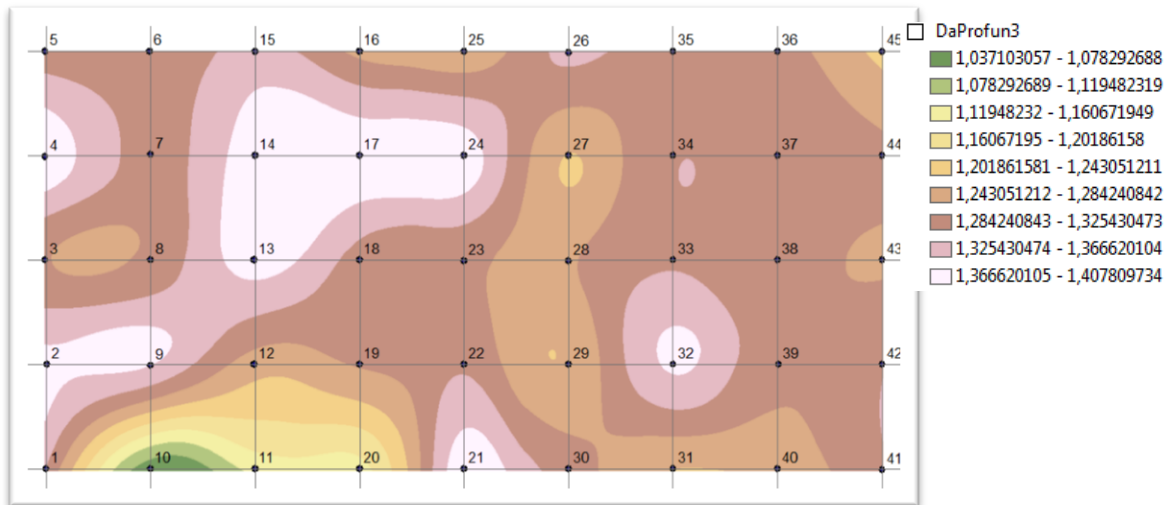


Figura 17. Distribución espacial de la densidad aparente entre los (20-30 cm)

6.2.2. Densidad real.

Para el perfil del suelo de los 0- 30 cm, la densidad real del suelo, según el análisis descriptivo que indican una baja dispersión de los datos con un coeficiente variación menor al 12% confirmado por la similitud entre la media y la mediana (anexo 2) , se mueve entre los valores de (2,03 - 3,61) g/cm³, con una densidad real promedio de 2,72 g/cm³ como se muestra en la figura (18) y una distribución espacial representada en la figura (19)

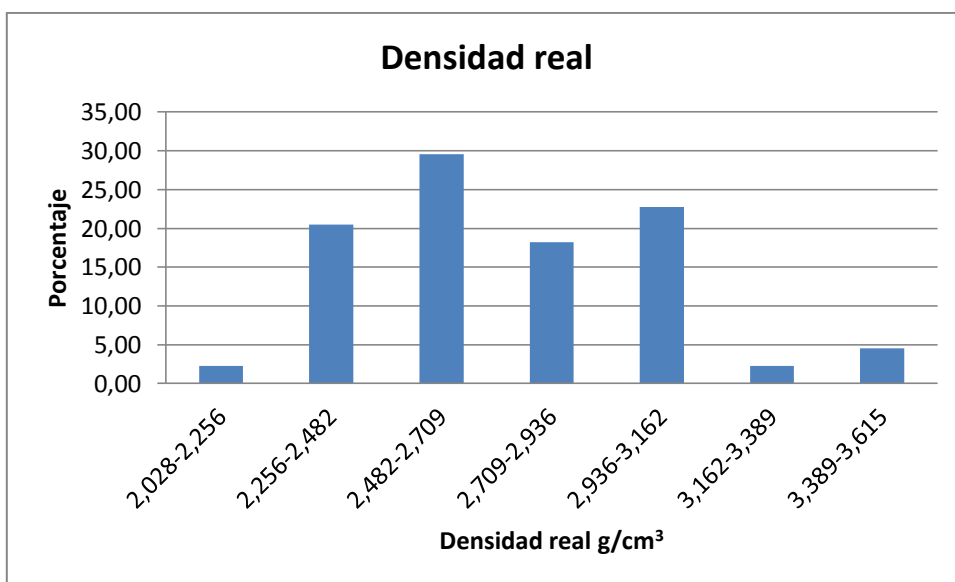
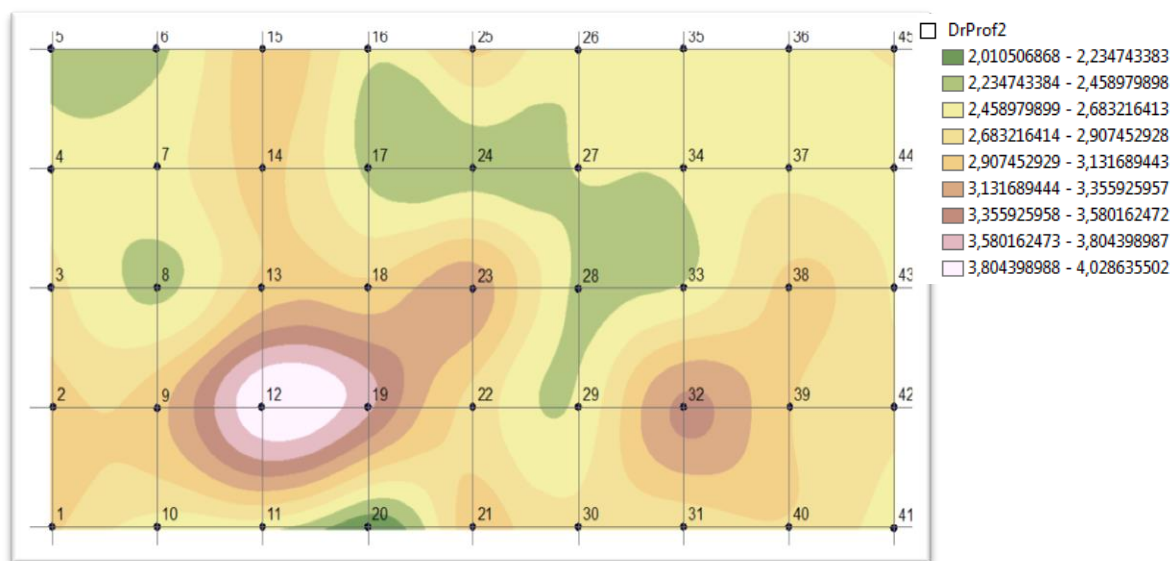


Figura 18. Distribución porcentual de la densidad real el perfil del suelo (0-30) cm



a 19. Distribución espacial de la densidad real para el perfil del suelo (0-30) cm

6.2.3. Evaluación de la densidad del suelo.

Según los datos obtenidos el horizonte del suelo de la granja agrícola corresponde a un horizonte mineral, pues su valor promedio de densidad real está en el rango de los 2.660- 2.75 g/cm³, que para porta (2003) es el característico de este suelo, también Jaramillo considera un valor medio para un suelo mineral los 2,65 g/cm³. Cabe resaltar que en los suelos minerales hay un predominio de arcillas como ya se determinó anteriormente en el análisis textural.

Por otra parte la densidad para cada una de las profundidades analizadas se encuentra en un mayor porcentaje en un rango promedio de densidad aparente entre los 1,27- 1,31 g/cm³, esta densidad aparente que presenta el suelo y su densidad real es propia de los suelos arcillosos (Cisneros 2003). También se puede afirmar que la densidad del terreno se encuentra por encima de la densidad mínima requerida para un suelo con textura arcillosa y franco arcillosa, sin que esta sea nociva para el crecimiento de las raíces de las plantas según la USDA (1999).

Según los valores obtenidos de densidades se estima que el suelo de la granja agrícola

no presenta una densidad que pueda afectar en gran medida el crecimiento de las raíces, ya que en general el suelo presenta una densidad menor a los 1,35 g/cm³ considerada como una densidad media según Jaramillo (2002).

6.3. Porosidad

6.3.1. Porosidad total

Los valores de porosidad total del suelo se analizaron para cada una de las tres profundidades (ver anexo 2), de ellos se obtuvieron los siguientes resultados para cada una de las profundidades.

Tabla 8. Porosidad

Profundidad del suelo	Porosidad total (%)		
	Mínimo	Máximo	Promedio
0-10	40,57	66,73	53,1
10-20	44,1	68	52,8
20-30	42	68	52

El análisis descriptivo realizado, para la porosidad para cada una de las profundidades analizadas, presenta un coeficiente de variación menor al 5%, lo que indica una baja dispersión de los datos obtenidos, así como también una similitud entre los valores de la media y la mediana lo que confirma este bajo coeficiente de variación.

Para la primera profundidad localizada entre los 0 y 10 cm se determinó que el suelo presenta una porosidad total promedio del 53,1%, que se distribuye en el suelo como se muestra en la figura (20), Para la segunda profundidad analizada considerada entre los 10-20 cm el análisis determinó una porosidad total promedio del 52,8%. Además de una distribución espacial como se presenta en la figura (21), la profundidad comprendida entre los 20-30 cm presentó según los datos analizados una porosidad total promedio del 52%, que se distribuye en el suelo como se presenta en la figura (22).

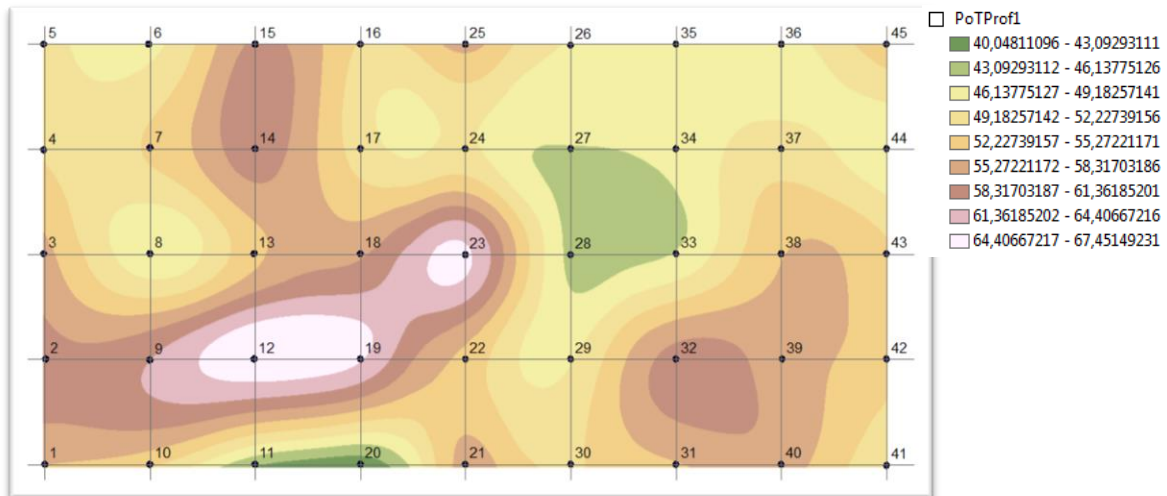


Figura 20. Distribución espacial de la porosidad total entre los (0-10 cm)

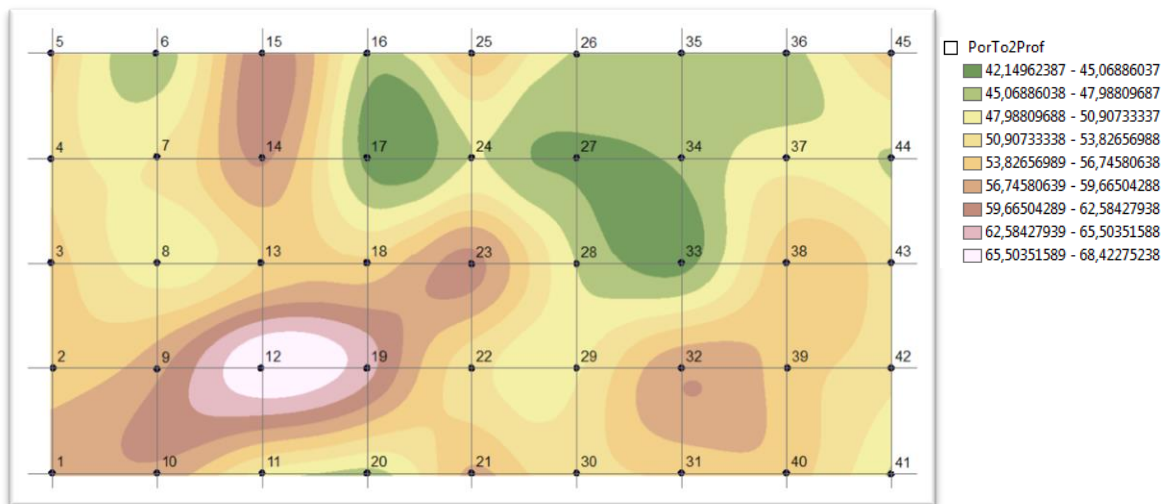


Figura 21. Distribución espacial de la porosidad total entre los (10-20 cm)

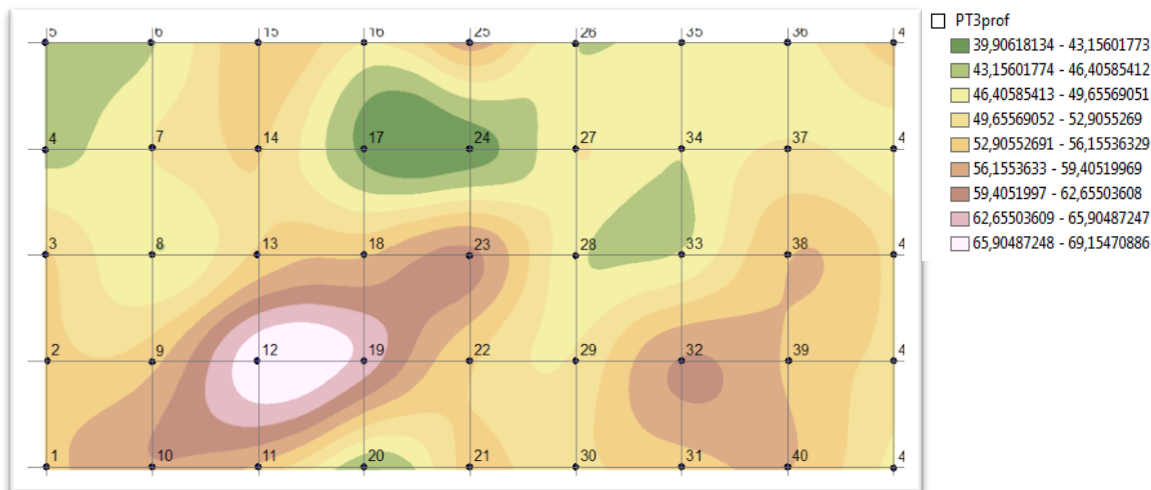


Figura 22. Distribución espacial de la porosidad total entre los (20-30 cm)

6.3.2. Macroporosidad

La tabla muestra el valor promedio de macroporosidad para cada una de las profundidades del suelo, se observa que el valor promedio de macroporosidad en el suelo oscila entre el 8,20% y el 10,5%, sin embargo todos los valores promedio están bajo el 11%.

Tabla 9. Valores medios de macroporosidad

Profundidad de la muestra (cm)	Porcentaje de macroporosidad (%)
0-10	9,4
10-20	10,5
20-30	8,20

Por otra parte la figura (23) permite apreciar cómo se distribuye espacialmente la macroporosidad en la primera profundidad analizada del suelo, de la misma forma las figuras (24) y (25) ofrecen la distribución espacial para la porosidad en la segunda y tercera profundidad analizada, respectivamente.

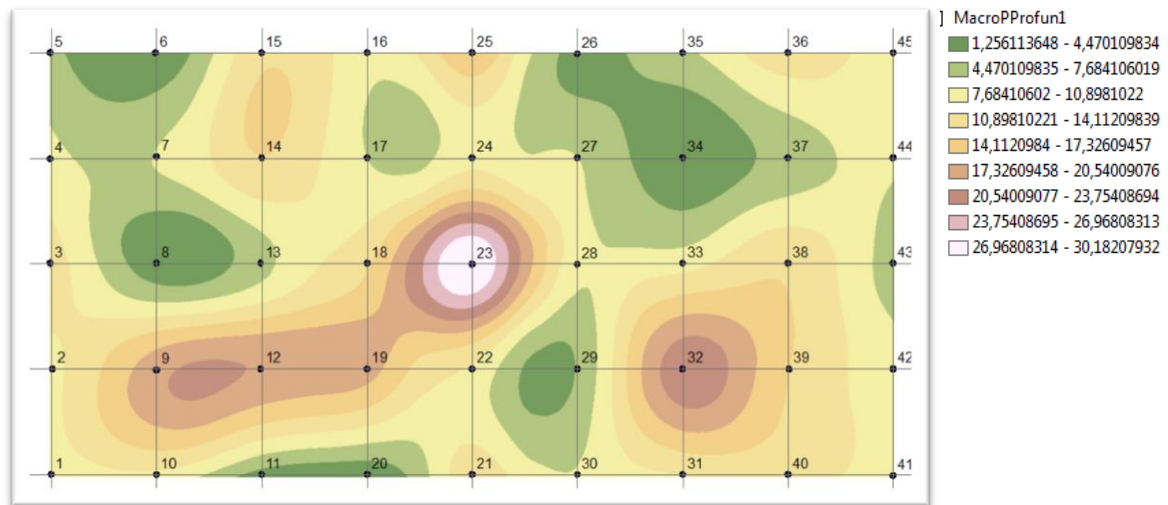


Figura 23. Distribución espacial de la macroporosidad entre los (0-10 cm)

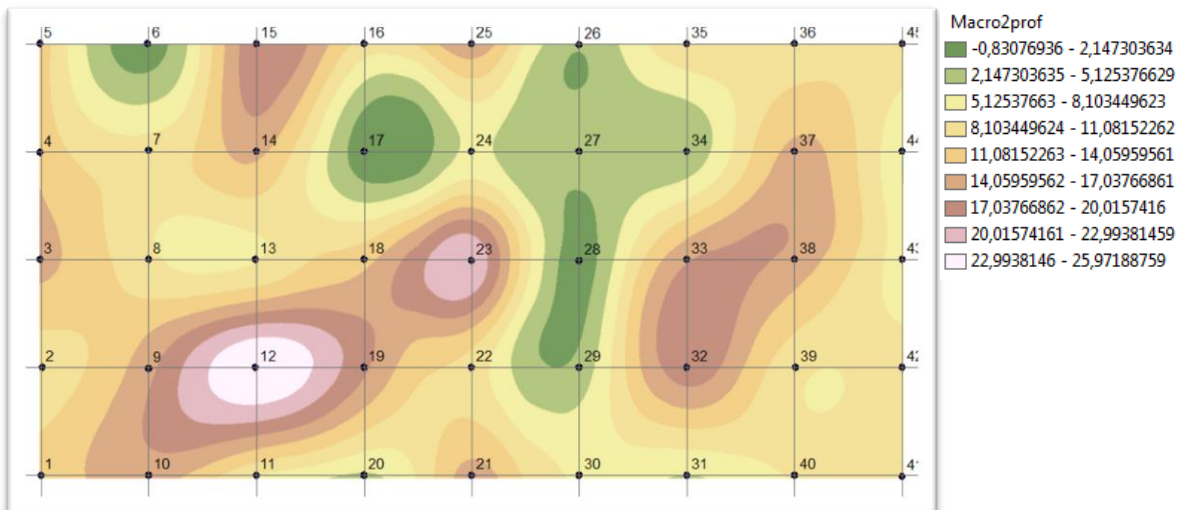


Figura 24. Distribución espacial de la macroporosidad entre los (10-20 cm)

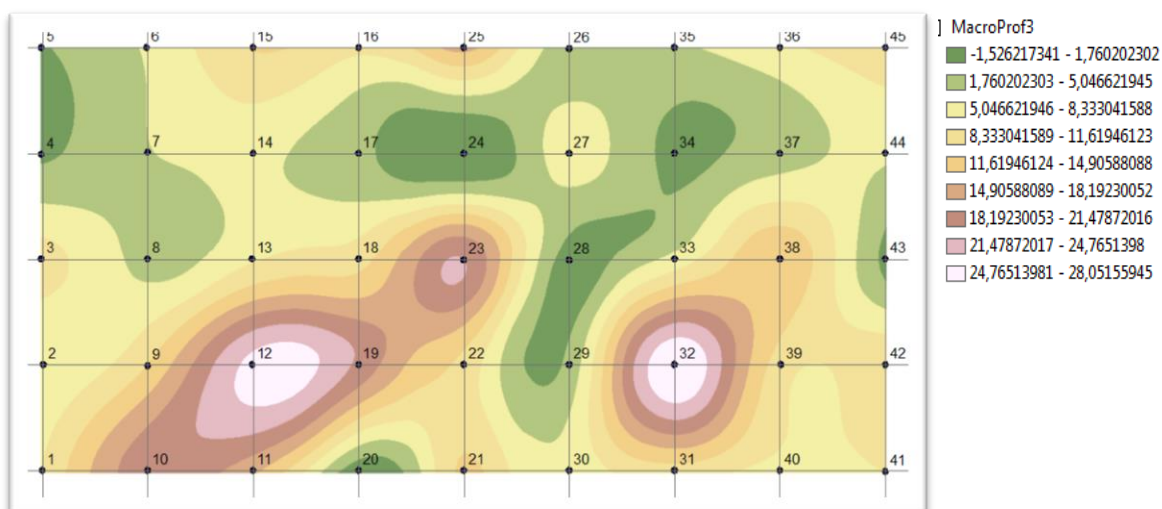


Figura 25. Distribución espacial de la macroporosidad entre los (20-30 cm)

6.3.3 Microporosidad

La variable porosidad para las tres profundidades presento los valores promedios de porosidad que se presentan en la tabla (10), el análisis descriptivo de esta propiedad muestra un coeficiente de variación menor al 12% para cada una de las profundidades del estudio además se puede ver en este una similitud entre sus valores de media y media lo que corrobora este coeficiente de variación.

Tabla 10. Valores medios de microporosidad

Profundidad de la muestra (cm)	Porcentaje de microporosidad (%)
0-10	42,9
10-20	42,6
20-30	43,7

La figura (26) presenta distribución espacial de la microporosidad para la primera profundidad, de igual forma, la figura (27) y (28) muestra estas distribuciones para la segunda profundidad y la tercera profundidad analizadas en este estudio.

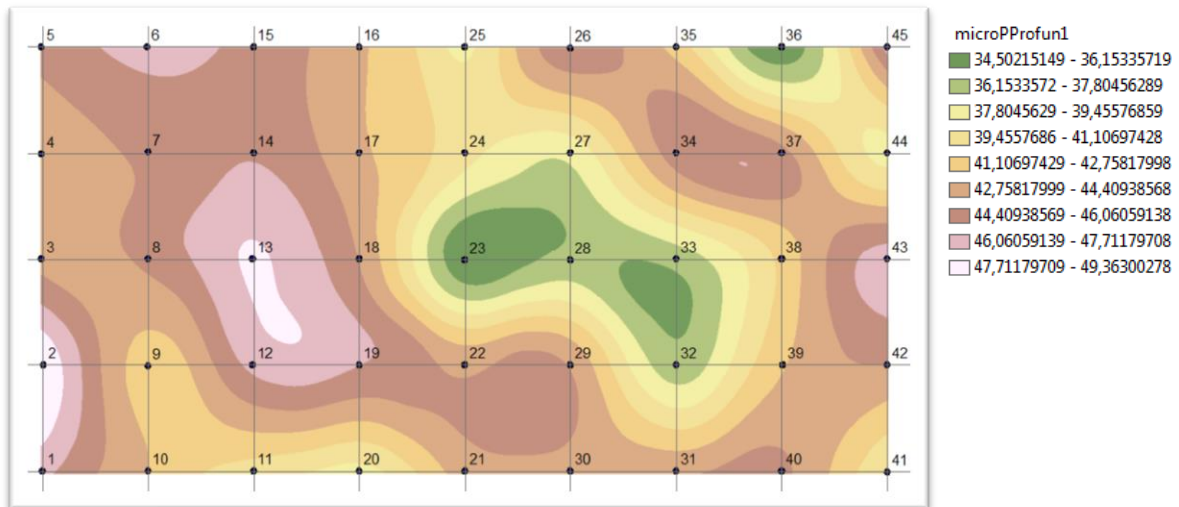


Figura 26. Distribución espacial de la macroporosidad en el suelo entre los (0-10 cm)

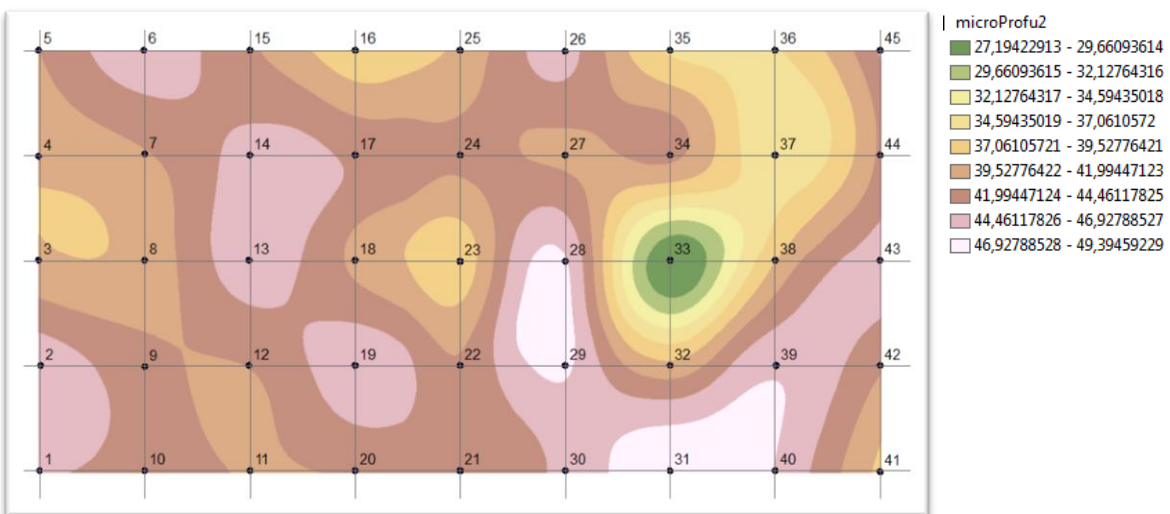


Figura 27. Distribución espacial de la microporosidad entre los (10-20 cm)

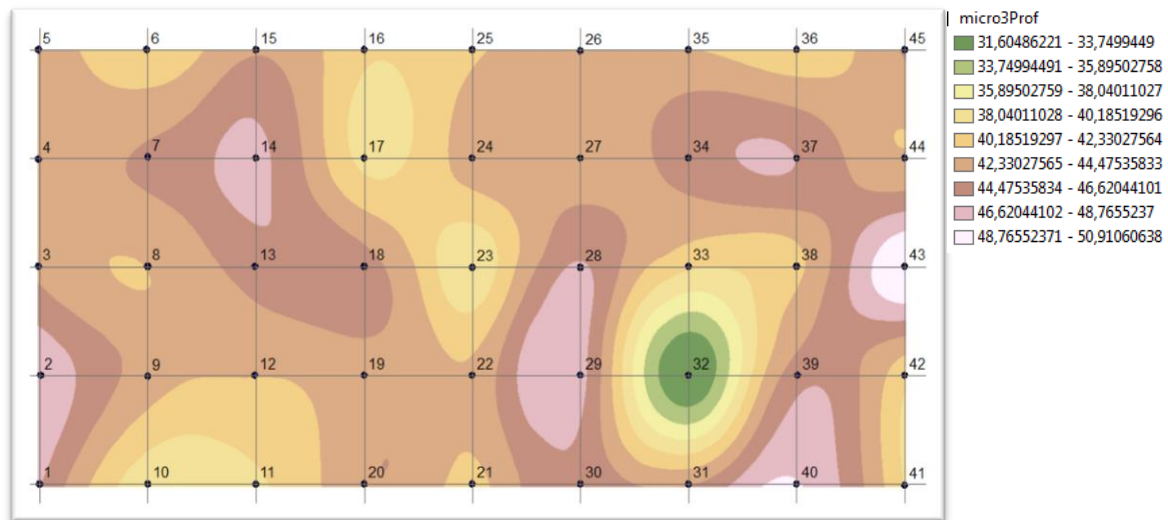


Figura 28. Distribución espacial de la microporosidad en el entre los (20-30 cm)

6.3.4 Evaluación de la porosidad

El suelo de la granja agrícola presenta una porosidad total que si bien en algunos sectores puede considerarse baja, en mayor proporción tiende a ser satisfactoria o excelente. Sin embargo según Cisneros (2003), para el desarrollo de una planta es de mayor importancia el tamaño de los poros que el espacio poroso total, en este caso el espacio poroso total es superior al 50%.

Según los datos de porosidad total, macroporosidad y microporosidad, es importante resaltar el predominio de los microporos en cada una de las profundidades analizadas estando alrededor del 42% mientras que la macroporosidad ronda el 10% del total de la porosidad según Kaurichev 1984 citado por Jaramillo (2002) puede haber restricción a la proliferación de raíces en las zonas de la granja en la que la macroporosidad esté por debajo del 10% así también, pueden haber problemas de drenaje en las zonas en las que la microporosidad se encuentre por encima del 40%, Aparte los resultados obtenidos en el análisis descriptivo realizado (anexo 2), presentan un coeficiente de variación mayor al 48% para la macroporosidad en las tres profundidades, lo que representa una alta heterogeneidad de los datos obtenidos para la medición de la macroporosidad en un mismo suelo.

Según Cisneros 2003, para el tipo de suelo de la granja agrícola la condición ideal sería una porosidad total del 50 al 65%, dado las características del suelo franco arcilloso y arcilloso, además este tipo de suelos pesados presenta un predominio de microporos como se obtuvo en los resultados. Es de resaltar que un suelo de estas características tiende a presentar mayores problemas de drenaje y aireación, además que aumentara la posibilidad de compactación del suelo, también puede haber producción de compuestos tóxicos (Jaramillo, 2002).

6.4 Fase liquida del suelo

6.4.1. Punto de marchitez permanente

El análisis descriptivo de los valores para el punto de marchitez permanente que presenta el suelo para profundidades entre los (0-10) cm, (10-20) cm y (20-30)cm, permite apreciar un coeficiente de variación menor al 5% para cada una de las profundidades analizadas, además se presentan en cada grupo de datos similitudes entre la media y la mediana, lo que confirma este coeficiente de variación, la tabla (11) presenta los valores promedio del punto de marchitez permanente para las tres profundidades.

Tabla 11. Valores medios porcentajes de punto de marchitez permanente

Profundidad (cm)	Punto de marchitez permanente promedio (%)
0-10	14,6
10-20	14,7
20-30	14,5

Por otra parte la figura (29) muestra la distribución espacial de esta propiedad para el suelo en la primera profundidad, de la misma forma lo hacen la figura (30) y (31) para la segunda y tercera profundidad respectivamente.

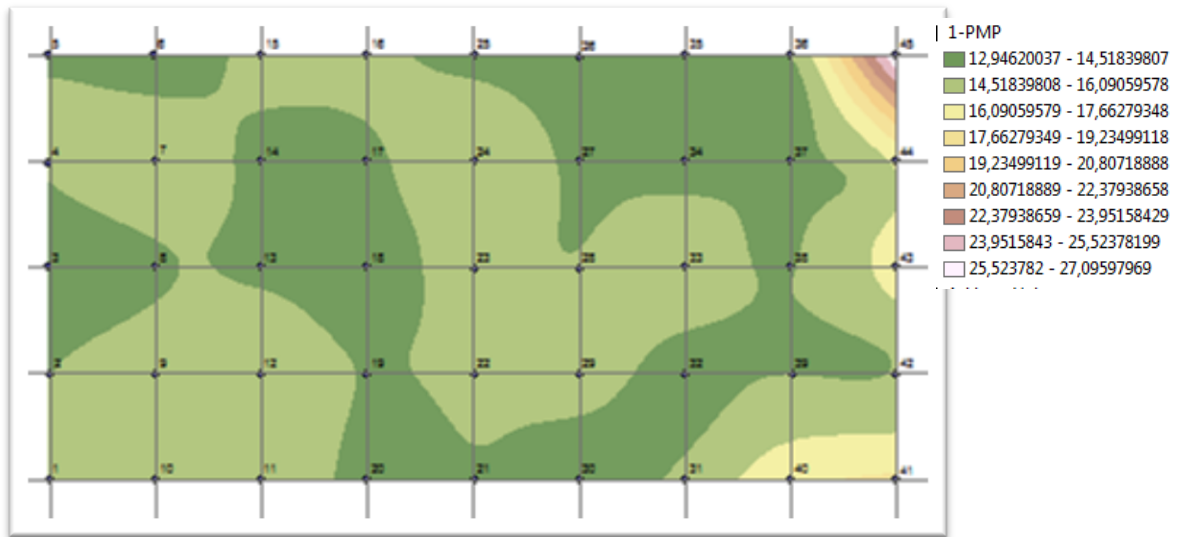


Figura 29. Distribución espacial del PMP en el suelo entre los (0-10 cm)

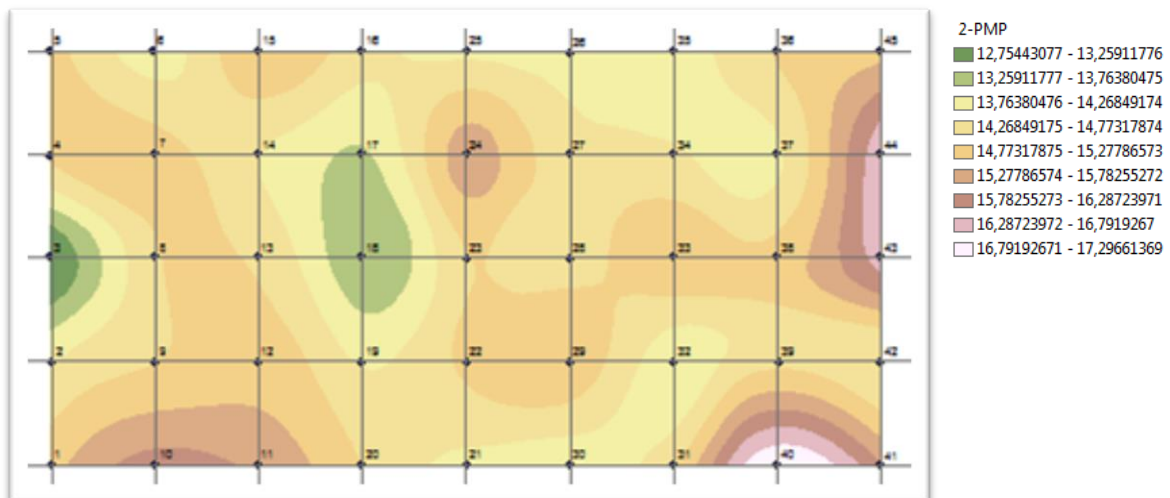


Figura 30. Distribución espacial del PMP en el suelo para entre los (20-30 cm)

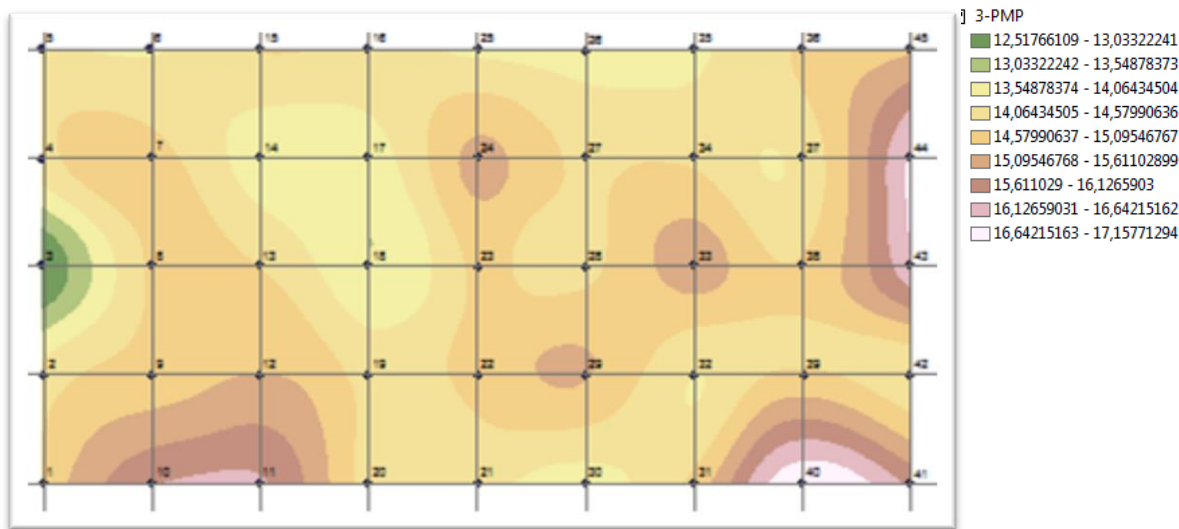


Figura 31. Distribución espacial del PMP en el suelo entre los (20-30 cm).

6.4.2. Porcentaje de agua a capacidad de campo

La tabla (12) presentan los porcentajes promedio de capacidad de campo para las tres profundidades, los valores promedios de porosidad que se presentan, el análisis descriptivo de esta propiedad muestra un coeficiente de variación menor al 12% para cada una de las profundidades del estudio además se puede ver en este una similitud entre sus valores de media y media lo que corrobora este coeficiente de variación.

Tabla 12. Valores medios de Capacidad de campo

Profundidad de la muestra (cm)	Capacidad de campo (%)
0-10	42,9
10-20	42,6
20-30	43,7

La figura (26) presenta distribución espacial de la microporosidad para la primera profundidad, de igual forma, la figura (27) y (28) muestra estas distribuciones para la segunda profundidad y la tercera profundidad analizadas en este estudio.

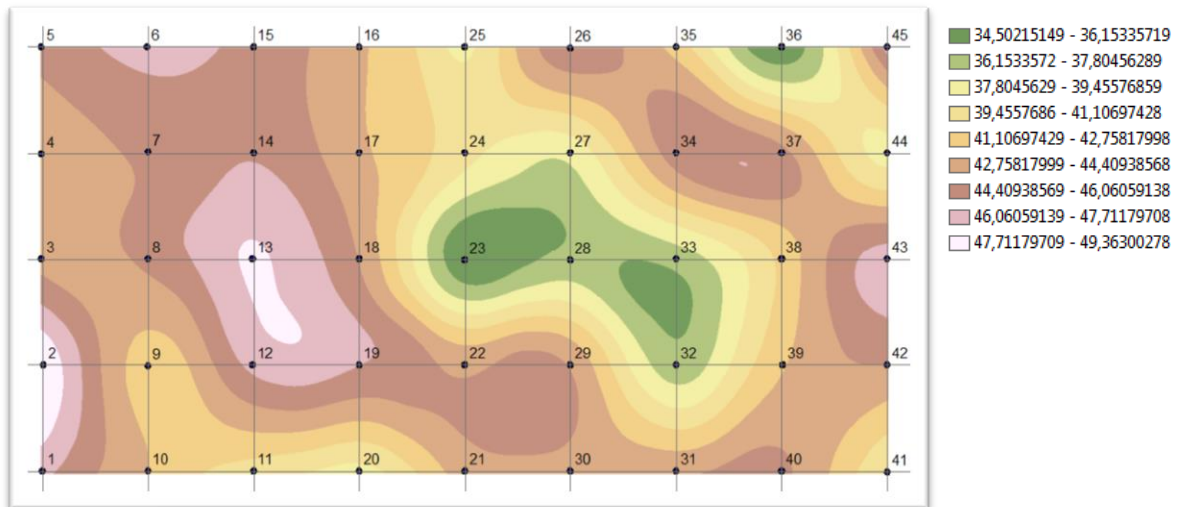


Figura 26. Distribución espacial del porcentaje de capacidad de campo en el suelo entre los (0-10 cm)

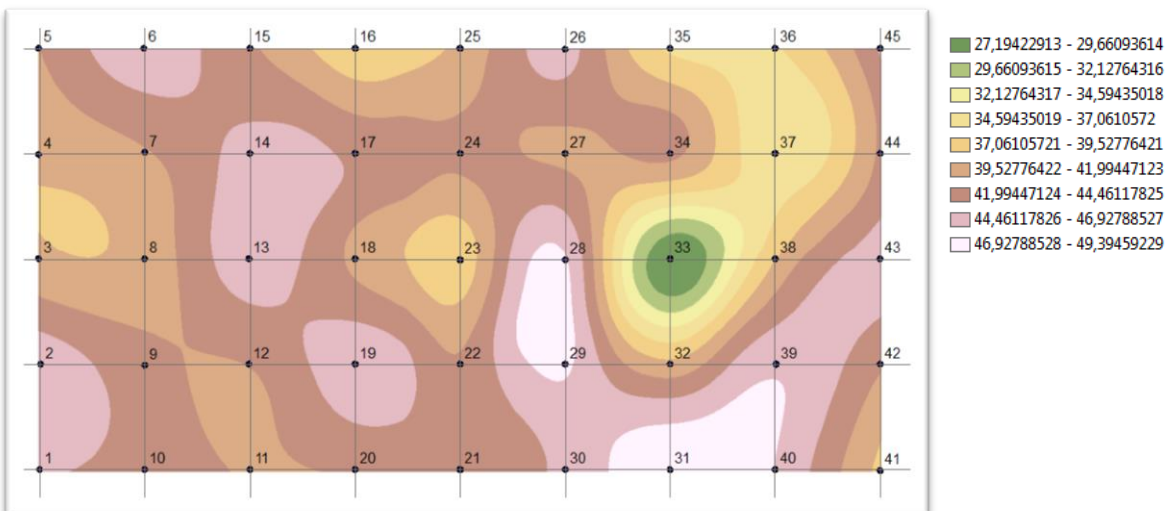


Figura 27. Distribución espacial del porcentaje de capacidad de campo en el suelo entre los (10-20 cm)

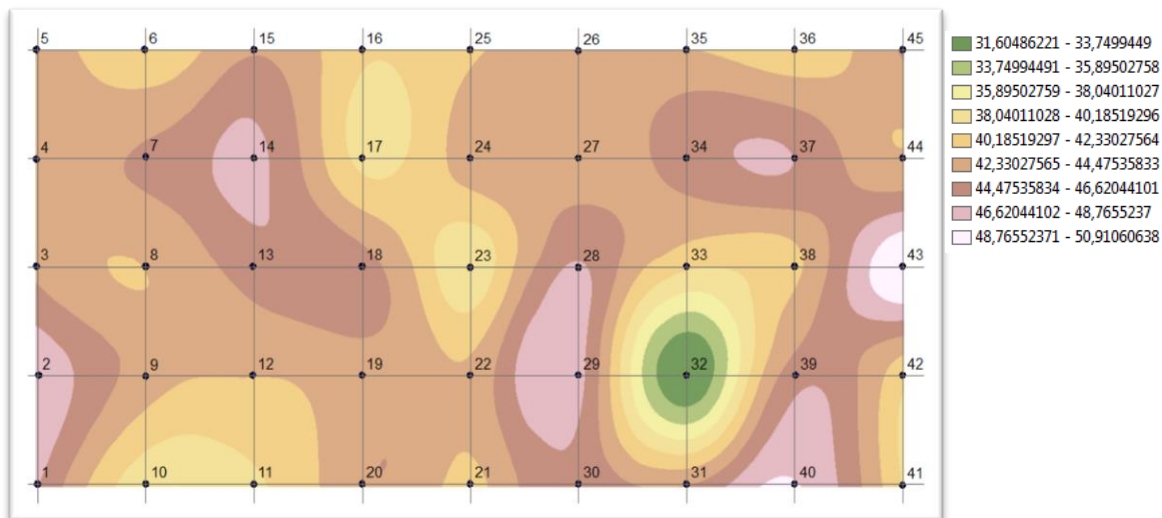


Figura 28. Distribución espacial del porcentaje de capacidad de campo en el suelo entre los (20-30 cm)

6.4.3. Porcentaje de agua aprovechable

Los datos presentados en la tabla (13) presentan los porcentajes promedio de agua aprovechable que puede presentar el suelo para las tres profundidades, el análisis descriptivo permite observar un coeficiente de variación bajo, menor al 14%, en los datos obtenidos en la primera profundidad, lo que se confirma por la similitud entre la media y la mediana, para los datos de la segunda y tercera profundidad se obtuvo un coeficiente de variación menor al 5%, e igualmente se presenta en estos una similitud entre la media y la mediana.

Tabla 13. Valores medios de Porcentaje de Agua aprovechable

Profundidad	Porcentaje de agua aprovechable
(0-10) cm	27,8
(10-20) cm	27,5
(20-30) cm	29

La distribución espacial de la capacidad de agua disponible (%) en las tres profundidades que presenta el suelo, para la primera segunda y tercera profundidad se presenta en las figuras (32), (33) y (34) respectivamente.

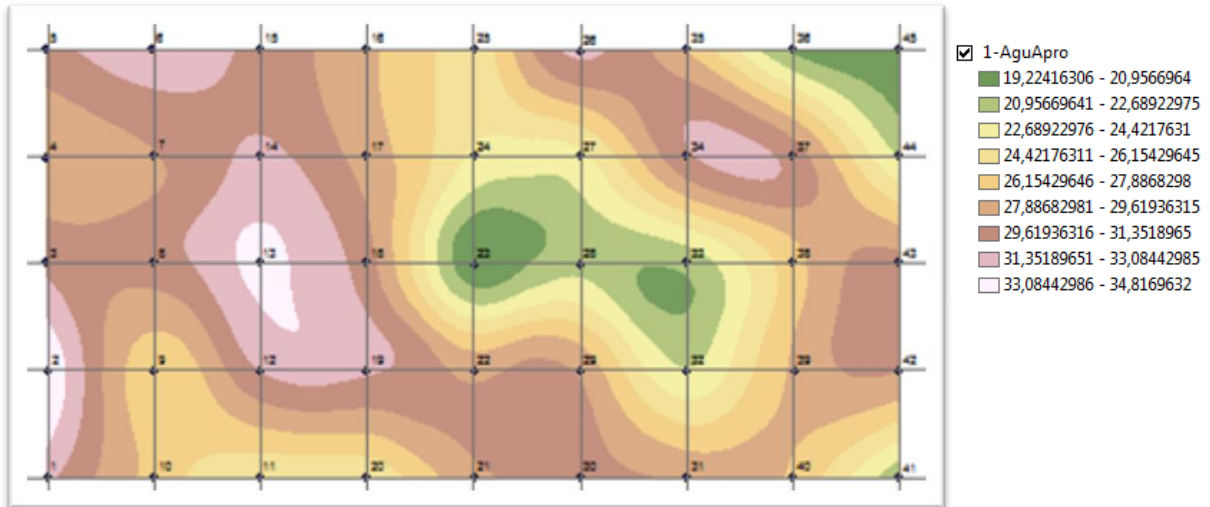


Figura 32. Distribución espacial agua aprovechable en el suelo entre los (0-10 cm)

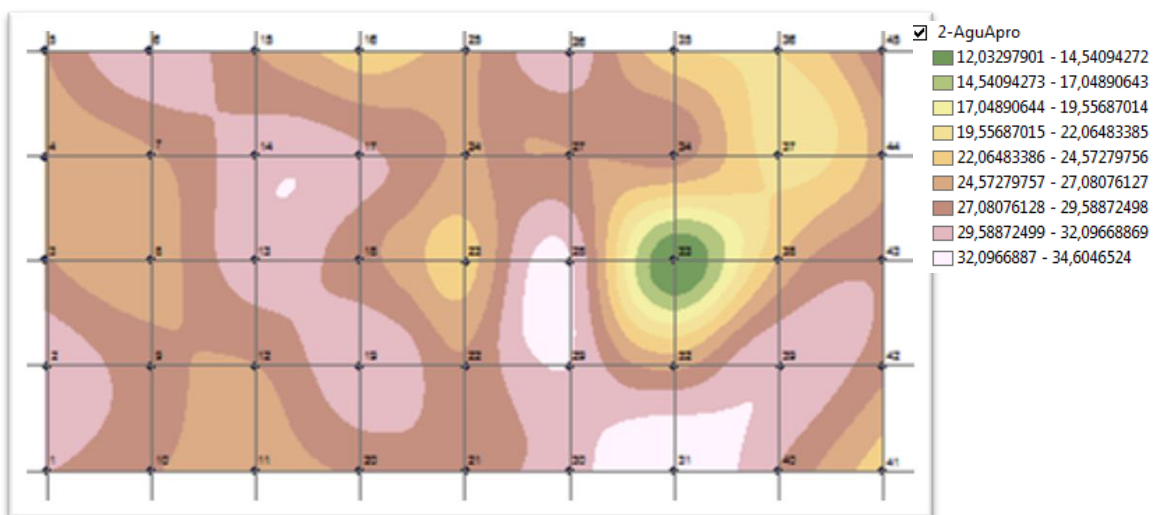


Figura 33. Distribución espacial agua aprovechable en el suelo entre los (10-20 cm)

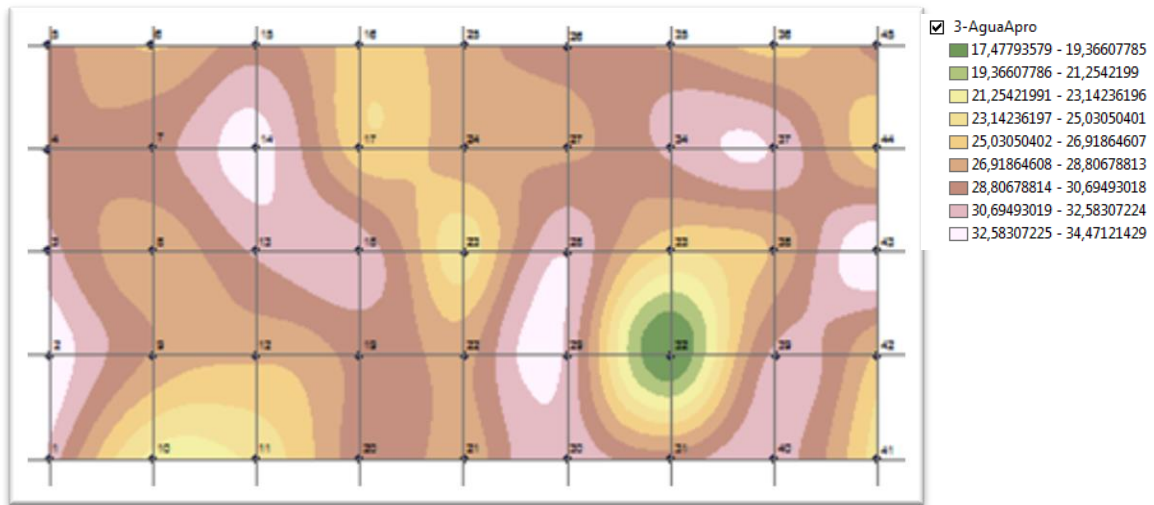


Figura 34. Distribución espacial agua aprovechable en el suelo entre los (20-30 cm)

6.4.3. Evaluación fase líquida del suelo.

De acuerdo a los datos obtenidos se puede observar que no se encontraron diferencias significativas en el punto de marchitez permanente que puede presentar el suelo ni en el porcentaje de agua aprovechable, según el análisis estadístico, ya que los coeficientes de variación fueron bajos para estas propiedades del suelo, por otra parte en las figuras (29)(30) y (31) se observa una uniformidad en el suelo para los valores de PMP cerna a la media para cada profundidad siendo esta del 14,5%, se nota también en las figuras (32,33 y 34) que aunque las muestras tomadas del suelo generan una mayor variabilidad esta, no es en gran medida superior al valores medio del suelo de la granja

Según Cisneros (2003) el suelo de la granja agrícola presenta puntos de marchitez permanente cercanos al de las arcillas (ver anexo 3), esto debido a que en su mayoría se ha considerado el suelo como arcilloso y franco arcilloso, no obstante los valores de humedad aprovechable están por encima de los valores estimados para este tipo de suelos, siendo estos superiores al 12% y con valores promedio para las tres profundidades entre el 27 y el 29%, Esto debido a la alta porosidad y microporosidad que presenta el suelo, esto resulta muy beneficioso para los cultivos pues permite un mejor aprovechamiento del riego en la granja.

Dado que el contenido de humedad del suelo está ligado al tipo de textura, y que se considera que un suelo con predominancia de arcillas aumenta la capacidad de retención de agua, se puede considerar que estos valores son congruentes con las características anteriormente analizadas para el suelo, además de puede afirmar que esto que representa un beneficio en el momento de ejercer el riego. Pues se presenta una distribución equilibrada del riego sin presentar deficiencias hídricas.

6.5. Estructura

Partiendo del análisis del suelo in situ y de las pruebas de densidad y porosidad se determinó el tipo de estructura para el suelo de la granja agrícola, según Cisneros (2003) este presenta una estructura granular y migajosa, el suelo de la granja agrícola se caracteriza por ser un suelo relativamente poroso; con agregados pequeños (tamaño menor de 2 cm de diámetro), esferoidales, no ajustados a los agregados adyacentes.

La estructura que presenta el suelo se caracteriza por presentar una velocidad de infiltración rápida, además esta estructura permite una mayor capacidad de infiltración que favorece la penetración de las raíces y la aireación, incidiendo directamente en la productividad del suelo, esto sumado a la textura y la porosidad permite valorar el suelo como un suelo apropiado para cultivos al menos en la primera profundidad. Dado su buena capacidad de retención de agua.

6.6. Recomendaciones para el manejo del suelo

Se recomienda para el uso del suelo de la granja agrícola evitar la labranza en seco, si es que se hace uso de tractor, pues esto puede ocasionar daños a la maquinaria, además la labranza en secos en suelos arcillosos puede crear grandes terrones que pueden ser muy difíciles de desmenuzar, por otra parte la labranza en condiciones demasiado húmedas puede causar patinaje del tractor además de serias compactaciones.

Tampoco es recomendable la labranza cero para este tipo de suelos, debido a que no se crean buenas condiciones para la germinación

Una de las prácticas de labranza que pueden beneficiar el suelo es la subsolación pues esta beneficia tanto el drenaje del suelo como el enraizamiento del cultivo lo que genera beneficios cuando se presenten problemas de déficit de humedad en la época seca así como el exceso en la época de lluvia, no obstante este proceso debe hacerse cuando el suelo este ligeramente húmedo, pues en estado completamente húmedo no afloja el perfil ni rompe la capa compactada.

Se debe tener en cuenta que en general la consistencia de los suelos arcillosos cambia muy rápidamente de dura en condición seca, a friable en condición ligeramente humedad, hasta ser de condición plástica cuando se encuentra saturado, por lo tanto para las condiciones óptimas de arado el suelo solo estará en condición optima por muy poco tiempo.

7. CONCLUSIONES

El suelo es un medio complejo en el que las propiedades físicas se presentan de manera anisotrópica, por lo tanto es necesario precisar los estudios de las variables que pueden llegar a afectar los sistemas de producción y mantenimiento de la vida.

De acuerdo al análisis estadístico a pesar de la variabilidad de los datos se podría considerar el suelo como uniforme, dado las características del mismo, el suelo es un suelo de textura franco arcillosa y arcilloso con una densidad aparente promedio entre el 1,27 y 1,31 g/cm³ y una densidad real promedio de 2,72 g/cm³, además el punto de marchitez permanente promedio del suelo de la granja agrícola es del 14% valor que entra en los valores generales para este tipo de suelo, por otra parte el suelo presenta una capacidad de retención de agua alta para este tipo de suelo, teniendo este un valor promedio del entre el 27 y el 29% para el perfil entre los 0 y 30 cm.

El suelo de la granja agrícola presenta una porosidad total satisfactoria, no obstante en el suelo predominan los microporos sobre los macroporos, estando el porcentaje de macroporos por debajo del 10,5 % y el de microporos por encima del 40 % algo característico de los suelos pesados.

A partir de una herramienta de GIS (ArcGIS 10.1) se elaboraron los mapas de la distribución espacial de las propiedades analizadas con el fin de tener un diseño espacial de las propiedades del suelo con el fin que sea más fácil el análisis para la elaboración de sistemas de riego o drenaje.

El suelo presenta características que pueden ser beneficiosas para sistemas de riego o drenaje debido a su densidad aparente que se encuentra en los rangos medios óptimos, por otra parte su textura franco arcillosa y arcillosa, así también como su microporosidad y macroporosidad permiten un mayor aprovechamiento del agua, no obstante se pueden presentar problemas de toxicidad del suelo debido al gran porcentaje de arcillas que se presentan y la capacidad que tienen estas para

reaccionar.

Por sus características a pesar de ser un suelo que presenta buenas propiedades físicas en su primer perfil, también puede presentar problemas de compactación por el elevado nivel de arcillas, además algunas zonas presentan una significativa cantidad de escombros que pueden influir en su manejo. Se recomienda evitar el uso de prácticas agrícolas que favorezcan la compactación como la mecanización.

8. BIBLIOGRAFÍA

Blanco, R. (2000): Propuesta metodológica para la aplicación del análisis de las propiedades físicas edáficas a la evaluación del suelo para usos ganaderos. Tesis doctoral. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga.

Cid L., Greco; López S., Teresa; González R., Felicita. (2006). Parámetros fundamentales para la caracterización hidropedológica general de los suelos. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, núm. pp. 42-47.

Cisneros (2003), Apuntes de la materia de riego y drenaje. Centro de investigación y estudios de posgrado y área agrogeodésica, Universidad autónoma de san Luis Potosí facultad de ingeniería, México, 164 págs.

Gómez, C. (2009).Determinación de la curva de retención de Agua de suelos granulares usando redes Neuronales artificiales.. Bucaramanga, Colombia. 3-11.

Departamento de Agricultura Servicio de Investigación Agrícola, Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Instituto de Calidad de Suelos Agosto, (1999). Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo, USA. 82 Págs.

Flores, L., Álcala, J (2010). Manual de Procedimientos Analíticos Laboratorio de Física de Suelos. Universidad nacional autónoma de México, México. 5-25.

García Coronado, Jorge; Medina González, Hanoi. (2009). Correlaciones entre la curva de retención de humedad y propiedades físico-químicas de los suelos de La Habana. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias. 40-46.

Giménez, R. (2009). Física del Suelo. Cátedra de Edafología Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina. 8-9.

Huerta, H. (2010). Determinación de propiedades físicas y químicas de Suelos con mercurio en la región de san Joaquín, Qro., Y su relación Con el crecimiento bacteriano. Querétaro, México. 5-9.

Jaramillo, D, (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. 614 Págs.

Jordán, A. (2005). Manual de edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. Sevilla, España. 143 págs

Meléndez, G. (2012). Evaluación de las propiedades físicas de un suelo cultivado con caña de azúcar (*saccharum officinarum*) bajo la aplicación de biosólidos. Trabajo de grado para optar el título de ingeniero agrícola. Facultad de ingeniería. Universidad del valle, Cali, Colombia. 121 págs.

Pinchao, J. (2013). Estimación del potencial productivo del suelo (pps) en un cultivo de maíz (*zea mays*) afectado por salinidad en dos municipios del valle del cauca. Trabajo de grado para optar el título de ingeniero agrícola. Facultad de ingeniería. Universidad del valle, Cali, Colombia. 83 págs.

Porta, j., López-Acevedo, M., Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, España: Ediciones Mundi-prensa. 929 p.

Reyes, O. (2010). Caracterización del estado actual de los suelos del departamento de León, en base a sus características físicas y sistemas de producción. En el período abril 2009 a junio 2010. Leon, Nicaragua. 6-7.

Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J. y Hill, M. (2004). Propiedades Físicas del Suelo. Universidad de la República, Facultad de agronomía, departamento de suelos y aguas. Montevideo, Uruguay. 68 Págs.

Van Genuchten, M.T., Leij, F.J., y Yates, S.R. (1991). The RETC code for quantifying the hydraulics functions for unsaturated soils. US Salinity Laboratory. Riverside, California.

9. ANEXOS

Anexo 1. Análisis descriptivo textura

Punto	Porcentaje de arenas A (%)	Porcentaje de Arcillas (Ar)	Porcentaje de Limos L (%)
1	35,32	40,84	23,84
2	44,04	36,84	19,12
3	*	30,84	17,12
4	39,32	38,84	21,84
5	40,04	36,84	23,12
6	42,04	36,84	21,12
7	37,32	40,84	21,84
8	39,32	38,84	21,84
9	35,32	40,84	23,84
10	38,6	40,84	20,56
11	35,32	42,84	21,84
12	37,32	40,84	21,84
13	35,32	40,12	24,56
14	39,32	36,84	23,84
15	33,32	40,84	25,84
16	38,04	38,84	23,12
17	39,32	36,84	23,84
18	35,32	36,84	27,84
19	35,32	39,56	25,12
20	43,32	35,56	21,12
21	41,32	37,56	21,12
22	36,04	40,84	23,12
23	40,04	38,84	21,12
24	34,04	42,84	23,12
25	41,32	36,84	21,84
26	39,32	36,84	23,84
27	45,32	37,56	17,12
28	37,32	39,56	23,12
29	40,04	40,12	19,84
30	*	35,56	17,12
31	38,04	40,12	21,84
32	36,04	38,12	25,84
33	34,04	42,84	23,12
34	38,04	38,84	23,12

35	44,04	36,84	19,12
36	42,04	38,84	19,12
37	38,04	38,84	23,12
38	40,04	38,84	21,12
39	40,04	38,84	21,12
40	32,04	*	19,12
41	*	46,12	26,56
42	31,32	40,12	*
43	*	*	26,56
44	32,04	*	20,56
45	33,32	41,56	25,12
Media	37,978	39	22,273
Mediana	38,04	38,84	21,84
Des Est	3,473	2,558	2,52
CV (%)	9,14	6,56	11,32
Mínimo	31,32	30,84	17,12
Máximo	45,32	46,12	27,84
*Datos atípicos			

Anexo 2. Análisis descriptivo de las propiedades físicas del suelo.

Punto	Profundidad (0-10) cm						
	Densidad aparente g/cm ³	Porosidad total (%)	Macroporosidad (%)	Microporosidad (%)	Contenido Gravimétrico de humedad		
					Capacidad de Campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Agua aprovechable (%)
1	1,31	48,79	9,57	39,22	39,22	*	21,26
2	1,26	53,58	9,27	44,31	44,31	14,60	29,71
3	1,25	52,80	5,94	46,86	46,86	*	30,17
4	1,32	47,11	8,00	39,11	39,11	16,53	22,58
5	1,24	54,73	7,88	46,86	46,86	*	19,68
6	1,25	56,51	11,79	44,72	44,72	*	27,56
7	1,26	56,75	14,07	42,68	42,68	14,49	28,19
8	1,33	55,16	13,50	41,66	41,66	14,47	27,19
9	1,29	50,73	5,81	44,92	44,92	14,32	30,60
10	1,31	47,95	12,81	35,14	35,14	14,57	20,57
11	1,23	55,01	10,90	44,11	44,11	14,84	29,27
12	1,37	59,72	*	36,87	36,87	14,09	22,78
13	1,33	46,51	9,73	36,77	36,77	15,24	21,53
14	1,31	47,02	1,80	45,23	45,23	14,18	31,05
15	1,26	48,95	6,88	42,07	42,07	14,28	27,79
16	1,31	51,90	7,89	44,00	44,00	13,79	30,21
17	1,28	49,07	4,86	44,21	44,21	14,93	29,28
18	1,32	45,33	8,55	36,77	36,77	14,59	22,18
19	1,33	46,00	7,70	38,30	38,30	14,28	24,02
20	1,27	48,91	3,38	45,53	45,53	13,78	31,75
21	1,32	56,46	12,97	43,49	43,49	14,34	29,15
22	1,29	54,15	10,15	44,00	44,00	14,90	29,10
23	1,14	64,98	*	34,94	34,94	15,26	19,68
24	1,19	49,86	9,93	39,93	39,93	15,77	24,16
25	1,30	56,09	16,87	39,22	39,22	14,03	25,19
26	1,21	40,57	1,76	38,81	38,81	14,01	24,80
27	1,28	64,51	18,47	46,04	46,04	14,46	31,58

28	1,25	58,00	13,69	44,31	44,31	13,96	30,35
29	1,19	50,77	7,68	43,09	43,09	14,28	28,81
30	1,21	51,97	8,98	42,99	42,99	14,79	28,20
31	1,44	43,20	2,86	40,34	40,34	15,52	24,82
32	1,32	66,73	20,28	46,45	46,45	15,09	31,36
33	1,36	54,50	6,62	47,87	47,87	14,40	33,47
34	1,19	59,91	13,97	45,94	45,94	14,27	31,67
35	1,25	58,88	13,25	45,63	45,63	14,77	30,86
36	1,22	52,56	9,88	42,68	42,68	15,41	27,27
37	1,18	61,44	19,48	41,97	41,97	15,23	26,74
38	1,28	47,14	2,32	44,82	44,82	14,36	30,46
39	1,24	52,64	7,82	44,82	44,82	15,29	29,53
40	1,24	48,36	1,91	46,45	46,45	13,95	32,50
41	1,33	55,16	8,61	46,55	46,55	14,70	31,85
42	1,22	59,37	10,27	49,10	49,10	14,49	34,61
43	1,21	56,27	12,37	43,90	43,90	12,95	30,95
44	1,23	51,92	8,83	43,09	43,09	14,70	28,39
45	1,18	50,59	5,57	45,02	45,02	14,34	30,68
Media	1,27	53,08	9,42	42,91	42,91	14,59	27,86
Mediana	1,26	52,64	8,98	44,00	44,00	14,92	30,77
Des Est	0,06	5,71	4,59	3,49	3,49	0,63	3,89
CV (%)	4,68	10,84	48,79	8,13	8,13	4,29	13,97
Mínimo	1,14	40,57	1,76	34,94	34,94	12,95	19,68
Máximo	1,44	66,73	20,28	49,10	49,10	16,53	34,61

***Datos atípicos**

Punto	Profundidad (10-20) cm						
	Densidad aparente g/cm3	Porosidad total (%)	Macroporosidad (%)	Microporosidad (%)	Contenido Gravimétrico de humedad		
					Capacidad de Campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Agua aprovechable (%)
1	1,34	47,47	8,66	38,81	38,81	15,86	22,95
2	1,31	51,74	9,47	42,27	42,27	14,33	27,94
3	1,28	51,88	6,24	45,63	45,63	*	29,12
4	1,30	47,77	5,09	42,68	42,68	*	26,03
5	1,22	55,55	10,63	44,92	44,92	15,07	29,85
6	1,29	55,09	8,34	46,75	46,75	*	29,50
7	1,30	55,39	8,84	46,55	46,55	14,64	31,91
8	1,31	55,54	15,92	39,62	39,62	14,96	24,66
9	1,31	49,91	14,77	35,14	35,14	14,18	20,96
10	1,33	47,06	10,18	36,87	36,87	14,80	22,07
11	1,25	54,26	4,96	49,30	49,30	14,71	*
12	1,39	59,09	18,76	40,34	40,34	13,94	26,40
13	1,39	44,09	16,79	*	*	15,17	*
14	1,35	45,58	3,10	42,48	42,48	14,34	28,14
15	1,30	47,09	10,42	36,67	36,67	13,99	22,68
16	1,29	52,65	7,52	45,12	45,12	13,93	31,19
17	1,24	50,61	3,35	47,26	47,26	15,18	*
18	1,26	47,82	0,76	47,06	47,06	14,58	*
19	1,36	44,84	3,28	41,56	41,56	14,46	27,10
20	1,30	47,60	2,38	45,23	45,23	13,99	31,24
21	1,29	57,37	15,30	42,07	42,07	14,13	27,94
22	1,35	52,02	9,75	42,27	42,27	14,87	27,40
23	1,28	60,50	22,30	38,20	38,20	14,74	23,46
24	1,24	48,11	5,74	42,37	42,37	15,50	26,87
25	1,28	56,60	16,37	40,24	40,24	14,12	26,12
26	*	46,85	4,58	42,27	42,27	14,76	27,51
27	1,32	63,53	17,49	46,04	46,04	14,22	31,82
28	1,35	54,67	13,21	41,46	41,46	13,37	28,09
29	1,35	44,19	0,29	43,90	43,90	13,71	30,19
30	1,33	47,49	10,01	37,49	37,49	14,46	23,03

31	1,27	49,88	8,01	41,87	41,87	15,68	26,19
32	1,27	68,01	25,94	42,07	42,07	15,04	27,03
33	1,37	54,02	7,98	46,04	46,04	14,68	31,36
34	1,19	60,01	14,69	45,33	45,33	14,29	31,04
35	1,18	61,42	19,04	42,37	42,37	15,25	27,12
36	*	58,63	15,34	43,29	43,29	15,98	27,31
37	1,25	59,08	16,30	42,78	42,78	14,77	28,01
38	1,23	49,36	8,82	40,54	40,54	14,70	25,84
39	1,27	51,20	9,44	41,76	41,76	15,04	26,72
40	1,29	46,62	0,78	45,84	45,84	14,09	31,75
41	1,27	57,09	12,27	44,82	44,82	15,08	29,74
42	1,33	55,81	9,77	46,04	46,04	14,21	31,83
43	1,24	55,06	14,92	40,13	40,13	*	27,36
44	1,20	53,00	13,17	39,83	39,83	14,86	24,97
45	*	54,99	13,02	41,97	41,97	14,96	27,01
Media	1,29	52,81	10,53	42,62	42,62	14,65	27,50
Mediana	1,29	52,65	9,77	42,32	42,32	14,70	27,36
Des Est	0,01	5,54	5,88	3,18	3,18	0,58	2,89
CV (%)	4,01	10,49	55,85	7,45	7,45	3,93	10,51
Mínimo	1,18	44,09	0,29	35,14	35,14	13,37	20,96
Máximo	1,39	68,01	25,94	49,30	49,30	15,98	31,91

***Datos atípicos**

Punto	Profundidad (10-20) cm							Densidad Real g/cm3
	Densidad aparente g/cm3	Porosidad total (%)	Macroporosidad (%)	Microporosidad (%)	Contenido Gravimétrico de humedad			
					Capacidad de Campo (%)	Punto de marchitez permanente (%)	Agua aprovechable (%)	
1	1,32	48,31	8,38	39,93	39,93	16,03	23,90	2,55
2	1,32	51,41	10,66	40,74	40,74	14,27	26,47	2,72
3	1,28	51,72	0,79	50,93	50,93	*	34,45	2,65
4	1,29	48,05	5,48	42,58	42,58	*	25,87	2,49
5	1,23	55,18	10,36	44,82	44,82	15,01	29,81	2,74
6	1,26	56,23	7,33	48,89	48,89	*	31,79	2,87
7	1,29	55,60	9,76	45,84	45,84	14,68	31,16	2,92
8	1,30	56,02	14,16	41,87	41,87	14,64	27,23	2,96
9	1,30	50,23	3,68	46,55	46,55	14,23	32,32	2,62
10	1,30	48,35	7,51	40,85	40,85	14,63	26,22	2,52
11	1,24	54,52	10,01	44,51	44,51	14,75	29,76	2,73
12	1,37	59,69	*	*	*	14,08	17,60	3,41
13	1,32	46,92	6,48	40,44	40,44	15,32	*	2,49
14	1,32	46,49	0,85	45,63	45,63	14,49	31,14	2,47
15	1,30	47,00	4,53	42,48	42,48	13,98	28,50	2,46
16	1,30	52,16	5,81	46,35	46,35	13,84	32,51	2,72
17	1,25	50,25	2,98	47,26	47,26	15,13	32,13	2,51
18	1,28	46,97	0,12	46,86	46,86	14,46	32,40	2,41

19	1,24	49,67	6,79	42,88	42,88	14,47	28,41	2,47
20	1,33	46,46	3,17	43,29	43,29	13,81	29,48	2,49
21	1,40	54,01	12,25	41,76	41,76	14,21	27,55	3,04
22	1,32	53,28	10,40	42,88	42,88	14,73	28,15	2,82
23	1,30	60,16	21,45	38,71	38,71	14,67	24,04	3,25
24	1,39	41,87	*	43,29	43,29	15,22	28,07	2,38
25	1,25	57,74	15,67	42,07	42,07	13,93	28,14	2,95
26	*	43,48	*	44,21	44,21	14,36	29,85	2,03
27	1,29	64,37	20,57	43,80	43,80	14,42	29,38	3,61
28	1,31	55,91	10,48	45,43	45,43	13,59	31,84	2,97
29	1,39	42,33	2,71	39,62	39,62	13,79	25,83	2,41
30	1,27	49,63	9,09	40,54	40,54	14,42	26,12	2,53
31	*	55,31	15,48	39,83	39,83	*	23,64	2,53
32	1,26	68,24	*	42,37	42,37	15,11	27,26	3,98
33	1,39	53,58	8,05	45,53	45,53	14,58	30,95	2,98
34	1,39	53,15	5,99	47,16	47,16	13,80	33,36	2,97
35	1,34	56,05	11,74	44,31	44,31	14,60	29,71	3,05
36	*	59,07	20,46	38,61	38,61	*	22,55	2,57
37	1,37	55,39	11,99	43,39	43,39	14,79	28,60	3,06
38	1,30	46,50	4,13	42,37	42,37	14,67	27,70	2,42
39	1,31	49,72	4,90	44,82	44,82	14,78	30,04	2,61
40	1,30	46,20	5,46	40,74	40,74	14,03	26,71	2,41
41	1,32	55,26	8,61	46,65	46,65	14,72	31,93	2,96
42	1,38	54,33	5,84	48,49	48,49	14,27	34,22	3,01
43	1,29	53,36	9,36	44,00	44,00	*	31,48	2,76

44	1,39	45,51	1,40	44,11	44,11	14,37	29,74	2,56
45	1,30	45,59	1,49	44,11	44,11	14,03	30,08	2,39
Media	1,31	52,03	8,20	43,67	43,67	14,49	28,99	2,72
Mediana	1,30	52,16	7,51	43,60	43,60	14,47	29,43	2,63
Des Est	0,05	5,62	5,34	2,81	2,81	0,49	2,92	0,31
CV (%)	3,50	10,80	65,15	6,44	6,44	3,41	10,07	11,35
Mínimo	1,23	41,87	0,12	38,61	38,61	13,59	22,55	2,03
Máximo	1,40	68,24	21,45	50,93	50,93	16,03	34,45	3,61

*Datos atípicos

Anexo 3. Relación entre la textura y la humedad del suelo (Cisneros 2003)

Textura del suelo	Punto de marchitez permanente (%)	Capacidad de Campo (%)	Humedad aprovechable (%)
Arena media	1,7	6,8	5,1
Franco	6,8	18,1	11,3
Arcilla	14,7	22,6	7,9

Anexo 4. Datos para determinación de la textura del suelo. Método de Bouyucos

Punto	Muestra	Arenas A (%)	Arcillas (Ar)	Limos L (%)	Según cuadro textural
1	41	27,32	46,12	26,56	arcillas
2	42	31,32	40,12	28,56	arcilla
3	43	25,32	48,12	26,56	arcilla
4	44	32,04	47,4	20,56	arcilla
5	45	33,32	41,56	25,12	arcilla
6	40	32,04	48,84	19,12	arcilla
7	39	40,04	38,84	21,12	franco arcilloso
8	38	40,04	38,84	21,12	franco arcilloso
9	37	38,04	38,84	23,12	franco arcilloso
10	36	42,04	38,84	19,12	franco arcilloso
11	31	38,04	40,12	21,84	arcilla
12	32	36,04	38,12	25,84	franco arcilloso
13	33	34,04	42,84	23,12	arcilla
14	34	38,04	38,84	23,12	franco arcilloso
15	35	44,04	36,84	19,12	franco arcilloso
16	30	47,32	35,56	17,12	arcillo arenoso
17	29	40,04	40,12	19,84	arcilla
18	28	37,32	39,56	23,12	franco arcilloso
19	27	45,32	37,56	17,12	arcillo arenoso
20	26	39,32	36,84	23,84	franco arcilloso
21	21	41,32	37,56	21,12	Arcilla
22	22	36,04	40,84	23,12	Arcilla
23	23	40,04	38,84	21,12	franco arcilloso
24	24	34,04	42,84	23,12	arcilla
25	25	41,32	36,84	21,84	franco arcilloso
26	20	43,32	35,56	21,12	franco arcilloso

27	19	35,32	39,56	25,12	franco arcilloso
28	18	35,32	36,84	27,84	franco arcilloso
29	17	39,32	36,84	23,84	franco arcilloso
30	16	38,04	38,84	23,12	franco arcilloso
31	11	35,32	42,84	21,84	arcilla
32	12	37,32	40,84	21,84	arcilla
33	13	35,32	40,12	24,56	arcilla
34	14	39,32	36,84	23,84	franco arcilloso
35	15	33,32	40,84	25,84	Arcilla
36	10	38,6	40,84	20,56	Arcilla
37	9	35,32	40,84	23,84	Arcilla
38	8	39,32	38,84	21,84	franco arcilloso
39	7	37,32	40,84	21,84	arcilla
40	6	42,04	36,84	21,12	franco arcilloso
41	1	35,32	40,84	23,84	Arcilla
42	2	44,04	36,84	19,12	franco arcilloso
43	3	52,04	30,84	17,12	franco arcillo arenoso
44	4	39,32	38,84	21,84	franco arcilloso
45	5	40,04	36,84	23,12	franco arcilloso

Anexo 5. Datos para el cálculo de la densidad aparente del suelo en cada uno de los puntos de muestreo para las tres profundidades además de la porosidad total, macroporosidad y microporosidad mediante el Software ArcGIS 10.1.

Primera Profundidad entre los (0 – 10) cm

Id	X	Y	P. Saturado	P. Drenado	P. seco	D.a	D.r	Po.T	m	M
1	1060891,03	864740,925	175,4	166,9	128,4	1,307902	2,553952	48,789085	39,216697	9,572387
2	1060891,03	864745,978	175,1	167,6	124,1	1,264102	2,722941	53,575859	44,309775	9,266084
3	1060891,03	864750,979	174,7	168,9	122,9	1,251878	2,652168	52,797922	46,856314	5,941609
4	1060891,03	864755,981	175,5	167,7	129,3	1,31707	2,49035	47,11306	39,114836	7,998224
5	1060891,03	864760,983	174,7	167,8	121,8	1,240674	2,740852	54,73402	46,856314	7,877706
6	1060886,03	864740,976	174,7	166,6	122,7	1,249841	2,873976	56,511774	44,717221	11,794553
7	1060886,08	864745,978	175,1	165,7	123,8	1,261046	2,915877	56,752427	42,67999	14,072437
8	1060886,03	864750,979	177,7	171	130,1	1,325219	2,955519	55,161222	41,661375	13,499848
9	1060886,03	864755,981	177,7	170,7	126,6	1,289567	2,617458	50,732083	44,920944	5,811139
10	1060886,03	864760,983	173	163,2	128,7	1,310958	2,518574	47,948406	35,142235	12,806171
11	1060881,03	864740,976	174,6	164	120,7	1,229469	2,732614	55,007585	44,106052	10,901533
12	1060881,03	864745,978	176,6	170,9	134,7	1,372075	3,406575	59,722735	36,873882	22,848854
13	1060881,03	864750,979	174	166,8	130,7	1,33133	2,488741	46,505873	36,77202	9,733853
14	1060881,03	864755,981	182,1	173	128,6	1,30994	2,472625	47,022302	45,226529	1,795773
15	1060881,03	864760,983	177,7	164,7	123,4	1,256972	2,462188	48,948998	42,068821	6,880178
16	1060876,03	864740,976	177,6	171,8	128,6	1,30994	2,723312	51,89902	44,00419	7,894829
17	1060876,03	864745,978	174,1	168,9	125,5	1,278362	2,509983	49,068877	44,207913	4,860963
18	1060876,03	864750,929	174,7	165,7	129,6	1,320126	2,414584	45,326994	36,77202	8,554974
19	1060876,03	864755,981	178,5	168,4	130,8	1,332349	2,467308	45,999891	38,299943	7,699948
20	1060876,03	864760,933	175,2	169,6	124,9	1,272251	2,49035	48,91277	45,532114	3,380656
21	1060871,03	864740,976	179,5	172,5	129,8	1,322163	3,036745	56,461174	43,494883	12,966292
22	1060871,03	864745,978	175,7	170,3	127,1	1,29466	2,823662	54,149605	44,00419	10,145414
23	1060871,03	864750,929	178	146,1	111,8	1,138812	3,252033	64,981526	34,938512	30,043014
24	1060871,03	864755,981	167,7	156,5	117,3	1,194836	2,383222	49,864681	39,929728	9,934953
25	1060871,03	864760,983	176	165,8	127,3	1,296698	2,952901	56,087337	39,216697	16,87064
26	1060866,02	864740,976	169	156,4	118,3	1,205022	2,027575	40,568307	38,809251	1,759056
27	1060866,02	864745,978	178	171,1	125,9	1,282437	3,614022	64,51497	46,041421	18,473549
28	1060866,02	864750,979	172,8	165,9	122,4	1,246785	2,96856	58,000334	44,309775	13,690559

29	1060866,02	864755,981	169,8	159	116,7	1,188724	2,414584	50,768983	43,087436	7,681546
30	1060866,02	864760,983	170,6	161,4	119,2	1,21419	2,527806	51,966656	42,985575	8,981081
31	1060861,02	864740,976	192,4	180,8	141,2	1,438285	2,532287	43,202121	40,337174	2,864947
32	1060860,97	864745,978	189,3	175,5	129,9	1,323182	3,976934	66,7286	46,448868	20,279732
33	1060860,97	864750,979	190,5	180,3	133,3	1,357814	2,984184	54,499637	47,874929	6,624707
34	1060861,02	864755,981	172,5	161,9	116,8	1,189743	2,967799	59,911612	45,93956	13,972052
35	1060861,02	864760,983	175,2	168	123,2	1,254934	3,052037	58,882077	45,633975	13,248102
36	1060856,02	864740,976	182,2	161,4	119,5	1,217246	2,565747	52,557855	42,67999	9,877865
37	1060856,02	864745,927	174,6	157,1	115,9	1,180575	3,061849	61,442408	41,966959	19,475449
38	1060856,02	864750,979	180	169,8	125,8	1,281418	2,423949	47,135087	44,819083	2,316004
39	1060856,02	864756,032	178,3	165,3	121,3	1,235581	2,609108	52,643565	44,819083	7,824482
40	1060855,97	864760,983	176,7	167,8	122,2	1,244748	2,410219	48,355399	46,448868	1,906531
41	1060851,02	864740,976	182,5	175,8	130,1	1,325219	2,955519	55,161222	46,550729	8,610493
42	1060851,07	864745,978	174,6	168,3	120,1	1,223357	3,010688	59,366189	49,097268	10,268921
43	1060850,97	864750,979	176,2	161,6	118,5	1,207059	2,760524	56,274274	43,902329	12,371945
44	1060850,97	864755,931	175,6	163	120,7	1,229469	2,557218	51,921618	43,087436	8,834181
45	1060850,97	864760,983	169,3	159,9	115,7	1,178538	2,385212	50,589788	45,022806	5,566982

Segunda profundidad entre 10 - 20 cm

Id	X	Y	P. Saturado	P. Drenado	P. seco	D.a	D.r	Po.T	m	M
1	1060891,03	864740,925	176,6	169,8	131,7	1,34151664	2,55395224	47,4729161	38,8092512	8,66366493
2	1060891,03	864745,978	176,6	170,5	129	1,31401402	2,72294078	51,7428352	42,272544	9,47029128
3	1060891,03	864750,979	176,7	170,1	125,3	1,27632524	2,65216815	51,8761567	45,6339752	6,24218157
4	1060891,03	864755,981	176,8	169,6	127,7	1,30077202	2,49034989	47,7674997	42,6799902	5,08750958
5	1060891,03	864760,983	177,7	163,7	119,6	1,21826416	2,74085241	55,5516322	44,9209443	10,6306879
6	1060886,03	864740,976	176,6	172,6	126,7	1,29058586	2,87397615	55,094065	46,7544522	8,33961278
7	1060886,08	864745,978	177,5	173,4	127,7	1,30077202	2,91587695	55,3900237	46,5507291	8,83929462
8	1060886,03	864750,979	179,7	167,9	129	1,31401402	2,95551943	55,5403357	39,6241436	15,9161921
9	1060886,03	864755,981	179	163,2	128,7	1,31095817	2,61745845	49,9148431	35,1422353	14,7726078
10	1060886,03	864760,983	174,6	167,1	130,9	1,33336771	2,51857449	47,058635	36,8738817	10,1847533
11	1060881,03	864740,976	179,7	171,1	122,7	1,24984124	2,73261375	54,2620599	49,300991	4,96106883

12	1060881,03	864745,978	177,7	176,4	136,8	1,39346603	3,40657469	59,0948048	40,3371745	18,7576303
13	1060881,03	864750,979	174,7	163,4	136,6	1,3914288	2,48874141	44,0910658	27,2988959	16,79217
14	1060881,03	864755,981	179,5	173,8	132,1	1,3455911	2,47262451	45,5804515	42,4762671	3,1041844
15	1060881,03	864760,983	179,6	163,9	127,9	1,30280925	2,46218783	47,0873331	36,6701586	10,4171744
16	1060876,03	864740,976	176,8	170,9	126,6	1,28956724	2,72331155	52,6470908	45,1246674	7,52242339
17	1060876,03	864745,978	176,9	168,1	121,7	1,23965508	2,50998289	50,6110145	47,26376	3,34725451
18	1060876,03	864750,929	178,5	169,9	123,7	1,26002739	2,41458409	47,8159655	47,0600369	0,75592858
19	1060876,03	864755,981	182,1	174,4	133,6	1,36087033	2,46730817	44,8439255	41,5595131	3,28441241
20	1060876,03	864760,933	180,1	172,5	128,1	1,30484648	2,49034989	47,6038897	45,226529	2,37736076
21	1060871,03	864740,976	178	168,4	127,1	1,29466032	3,03674461	57,3668356	42,0688209	15,2980148
22	1060871,03	864745,978	181,8	174,5	133	1,35475864	2,82366229	52,0212229	42,272544	9,7486789
23	1060871,03	864750,929	175,2	163,6	126,1	1,28447417	3,25203252	60,5024194	38,1980819	22,3043375
24	1060871,03	864755,981	172,1	163	121,4	1,23659924	2,38322212	48,112296	42,3744055	5,73789049
25	1060871,03	864760,983	174,1	165,3	125,8	1,28141832	2,95290123	56,6047686	40,2353129	16,3694557
26	1060866,02	864740,976	159,5	147,3	105,8	1,07769522	2,02757502	46,8480719	42,272544	4,57552795
27	1060866,02	864745,978	179,8	174,6	129,4	1,31808848	3,61402241	63,5284918	46,0414214	17,4870704
28	1060866,02	864750,979	180,7	172,8	132,1	1,3455911	2,96856025	54,671929	41,4576515	13,2142774
29	1060866,02	864755,981	180,3	175,4	132,3	1,34762833	2,41458409	44,1879728	43,9023288	0,28564398
30	1060866,02	864760,983	175,4	167,1	130,3	1,32725602	2,52780587	47,4937519	37,485051	10,0087009
31	1060861,02	864740,976	180,9	165,7	124,6	1,26919493	2,53228666	49,8794921	41,8650977	8,01439431
32	1060860,97	864745,978	178,6	166,2	124,9	1,27225078	3,97693378	68,0092541	42,0688209	25,9404333
33	1060860,97	864750,979	187,6	179,9	134,7	1,3720751	2,98418383	54,0217634	46,0414214	7,98034199
34	1060861,02	864755,981	169,9	161	116,5	1,18668708	2,96779938	60,0145789	45,3283905	14,6861884
35	1060861,02	864760,983	167,4	157,2	115,6	1,17751954	3,05203724	61,4185724	42,3744055	19,0441669
36	1060856,02	864740,976	168,4	146,7	104,2	1,06139737	2,56574727	58,6320376	43,2911595	15,3408781
37	1060856,02	864745,927	182,3	165	123	1,25289709	3,06184936	59,0803812	42,7818517	16,2985295
38	1060856,02	864750,979	183,4	160,3	120,5	1,2274317	2,42394861	49,3623053	40,5408976	8,82140773
39	1060856,02	864756,032	179,8	166	125	1,2732694	2,60910816	51,1990566	41,7632362	9,43582041
40	1060855,97	864760,983	180,3	171,3	126,3	1,2865114	2,41021933	46,6226421	45,8376983	0,78494384
41	1060851,02	864740,976	178,3	168,5	124,5	1,26817632	2,95551943	57,0912543	44,8190827	12,2721715

42	1060851,07	864745,978	182,7	175,8	130,6	1,33031187	3,01068794	55,8136914	46,0414214	9,77227004
43	1060850,97	864750,979	176,1	161,2	121,8	1,2406737	2,7605245	55,0565952	40,1334514	14,9231439
44	1060850,97	864755,931	172,9	157,1	118	1,20196631	2,55721775	52,9971075	39,8278667	13,1692407
45	1060850,97	864760,983	160,8	146,6	105,4	1,07362076	2,38521169	54,9884499	41,9669593	13,0214906

Tercera profundidad (20 - 30) cm

Id	X	Y	P. Saturado			D.a	D.r	Po.T	m	M
1	1060891,03	864740,925	177,4	168,8	129,6	1,32012571	2,55395224	48,3104778	39,9297283	8,38074957
2	1060891,03	864745,978	177,9	169,9	129,9	1,32318156	2,72294078	51,4061573	40,7446207	10,6615367
3	1060891,03	864750,979	177,9	175,7	125,7	1,28039971	2,65216815	51,7225291	50,9307758	0,79175329
4	1060891,03	864755,981	177,5	168,8	127	1,29364171	2,49034989	48,0538173	42,5781286	5,47568867
5	1060891,03	864760,983	176,7	164,6	120,6	1,22845031	2,74085241	55,1799903	44,8190827	10,3609076
6	1060886,03	864740,976	178,1	171,5	123,5	1,25799016	2,87397615	56,2282323	48,8935448	7,33468746
7	1060886,08	864745,978	178,7	172,1	127,1	1,29466032	2,91587695	55,5996243	45,8376983	9,761926
8	1060886,03	864750,979	180	168,7	127,6	1,2997534	2,95551943	56,0228437	41,8650977	14,157746
9	1060886,03	864755,981	179,4	173,6	127,9	1,30280925	2,61745845	50,2261728	46,5507291	3,67544363
10	1060886,03	864760,983	176,6	167,8	127,7	1,30077202	2,51857449	48,3528471	40,8464822	7,50636492
11	1060881,03	864740,976	179,9	165,7	122	1,24271093	2,73261375	54,5229935	44,5134981	10,0094954
12	1060881,03	864745,978	178,6	165,9	134,8	1,37309372	3,40657469	59,6928339	31,6789426	28,0138914
13	1060881,03	864750,979	175,6	169,4	129,7	1,32114433	2,48874141	46,9151628	40,439036	6,47612675
14	1060881,03	864755,981	183,6	174,7	129,9	1,32318156	2,47262451	46,4867573	45,6339752	0,85278218
15	1060881,03	864760,983	182,1	169,8	128,1	1,30484648	2,46218783	47,0045924	42,4762671	4,52832531
16	1060876,03	864740,976	179,1	173,4	127,9	1,30280925	2,72331155	52,1608445	46,347006	5,81383847
17	1060876,03	864745,978	177,6	169	122,6	1,24882262	2,50998289	50,2457714	47,26376	2,9820114
18	1060876,03	864750,929	178	171,7	125,7	1,28039971	2,41458409	46,9722462	46,8563138	0,11593245
19	1060876,03	864755,981	173,4	164	121,9	1,24169232	2,46730817	49,6742105	42,8837133	6,79049721
20	1060876,03	864760,933	180	173,4	130,9	1,33336771	2,49034989	46,4586195	43,2911595	3,16746007

21	1060871,03	864740,976	184	178,1	137,1	1,39652187	3,03674461	54,0125347	41,7632362	12,2492985
22	1060871,03	864745,978	179,2	171,6	129,5	1,31910709	2,82366229	53,2838223	42,8837133	10,400109
23	1060871,03	864750,929	172,7	165,2	127,2	1,29567894	3,25203252	60,1578727	38,7073896	21,450483
24	1060871,03	864755,981	186,5	178,5	136	1,3853171	2,38322212	41,8720944	43,2911595	-1,41906511
25	1060871,03	864760,983	174,1	163,8	122,5	1,24780401	2,95290123	57,7431173	42,0688209	15,6742964
26	1060866,02	864740,976	166,9	155,9	112,5	1,14594246	2,02757502	43,4821181	44,2079134	-0,72579539
27	1060866,02	864745,978	177,5	169,4	126,4	1,28753001	3,61402241	64,3740445	43,8004672	20,5735773
28	1060866,02	864750,979	180,9	173,1	128,5	1,30892094	2,96856025	55,9072133	45,4302521	10,4769612
29	1060866,02	864755,981	184,4	175,6	136,7	1,39244741	2,41458409	42,3317905	39,6241436	2,70764684
30	1060866,02	864760,983	171	164,8	125	1,2732694	2,52780587	49,6294627	40,5408976	9,08856512
31	1060861,02	864740,976	172,8	150,2	111,1	1,13168184	2,53228666	55,3098842	39,8278667	15,4820175
32	1060860,97	864745,978	181,3	165,6	124	1,26308324	3,97693378	68,2397719	42,3744055	25,8653664
33	1060860,97	864750,979	188,9	180,7	136	1,3853171	2,98418383	53,5780239	45,5321136	8,04591028
34	1060861,02	864755,981	189,3	182,8	136,5	1,39041018	2,96779938	53,150129	47,1618984	5,98823053
35	1060861,02	864760,983	183,2	175,2	131,7	1,34151664	3,05203724	56,0452074	44,309775	11,7354325
36	1060856,02	864740,976	168,1	141	103,1	1,0501926	2,56574727	59,0687435	38,6055281	20,4632154
37	1060856,02	864745,927	186,3	176,7	134,1	1,36596341	3,06184936	55,3876351	43,393021	11,9946141
38	1060856,02	864750,979	185,7	168,9	127,3	1,29669755	2,42394861	46,5047425	42,3744055	4,13033695
39	1060856,02	864756,032	182,7	172,8	128,8	1,31197679	2,60910816	49,7155079	44,8190827	4,89642518
40	1060855,97	864760,983	179,5	167,3	127,3	1,29669755	2,41021933	46,2000185	40,7446207	5,45539785
41	1060851,02	864740,976	184,6	175,6	129,8	1,32216294	2,95551943	55,2646169	46,6525907	8,61202622
42	1060851,07	864745,978	187,1	182,6	135	1,37513095	3,01068794	54,3250256	48,4860986	5,83892697
43	1060850,97	864750,979	178,3	169,6	126,4	1,28753001	2,7605245	53,3592253	44,0041903	9,35503494
44	1060850,97	864755,931	190,2	180,1	136,8	1,39346603	2,55721775	45,508511	44,1060519	1,40245913
45	1060850,97	864760,983	181,7	170,7	127,4	1,29771617	2,38521169	45,5932496	44,1060519	1,48719775

Anexo 6. Datos para calculo densidad real.

<i>Pps</i>	<i>Ppw</i>	<i>Pss</i>	<i>PT</i>	<i>Pw1</i>	<i>Pw2</i>	<i>Pw</i>	<i>Vs</i>	<i>Dr</i>
37,7138	86,6775	2	88,0008	48,9637	48,287	0,6767	0,6767	2,95551943
37,7138	86,852	2	88,1877	49,1382	48,4739	0,6643	0,6643	3,01068794
37,7138	86,7122	2	87,9877	48,9984	48,2739	0,7245	0,7245	2,7605245
36,1948	86,2169	2	87,4348	50,0221	49,24	0,7821	0,7821	2,55721775
37,7138	86,855	2	88,0165	49,1412	48,3027	0,8385	0,8385	2,38521169
36,1948	86,2593	2	87,4295	50,0645	49,2347	0,8298	0,8298	2,41021933
36,1948	86,2516	2,2	87,6084	50,0568	49,2136	0,8432	0,8432	2,60910816
37,7138	86,9023	2	88,0772	49,1885	48,3634	0,8251	0,8251	2,42394861
37,7138	86,7107	2	88,0575	48,9969	48,3437	0,6532	0,6532	3,06184936
36,8086	86,6119	2	87,8324	49,8033	49,0238	0,7795	0,7795	2,56574727
19,8403	69,5113	2	70,7215	49,671	48,8812	0,7898	0,7898	2,53228665
19,8403	69,3207	1,8	70,8178	49,4804	49,1775	0,3029	0,3029	5,9425553
19,8403	69,5506	2	70,8804	49,7103	49,0401	0,6702	0,6702	2,98418383
19,8403	69,4256	2	70,7517	49,5853	48,9114	0,6739	0,6739	2,96779938
36,8086	86,4619	2	87,8066	49,6533	48,998	0,6553	0,6553	3,05203723
36,8086	86,592	2	87,8008	49,7834	48,9922	0,7912	0,7912	2,52780586
36,1948	86,2108	2	87,3825	50,016	49,1877	0,8283	0,8283	2,41458409
36,8086	86,4962	2,2	87,9551	49,6876	48,9465	0,7411	0,7411	2,96856025
37,7138	86,5326	2	87,9792	48,8188	48,2654	0,5534	0,5534	3,61402241
19,8403	69,5275	2	70,5411	49,6872	48,7008	0,9864	0,9864	2,02757502
36,1948	86,0407	2	87,3821	49,8459	49,1873	0,6586	0,6586	3,03674461
36,8086	86,4767	2	87,7684	49,6681	48,9598	0,7083	0,7083	2,82366229
19,8403	69,2391	2	70,6241	49,3988	48,7838	0,615	0,615	3,25203252
19,8403	69,5131	2	70,6739	49,6728	48,8336	0,8392	0,8392	2,38322212
36,1948	86,1097	2	87,4324	49,9149	49,2376	0,6773	0,6773	2,95290123
37,7138	86,8479	2	88,0448	49,1341	48,331	0,8031	0,8031	2,49034989
36,8086	86,5326	2	87,722	49,724	48,9134	0,8106	0,8106	2,46730817
37,7138	86,7525	2	87,9242	49,0387	48,2104	0,8283	0,8283	2,41458409
36,8086	86,4841	2,2	87,8076	49,6755	48,799	0,8765	0,8765	2,50998289

36,1948	86,0898	2	87,3554	49,895	49,1606	0,7344	0,7344	2,72331155
36,8086	86,5199	2	87,788	49,7113	48,9794	0,7319	0,7319	2,73261375
36,8086	86,4301	2	87,843	49,6215	49,0344	0,5871	0,5871	3,40657469
19,8403	69,5021	2,1	70,7583	49,6618	48,818	0,8438	0,8438	2,48874141
36,1948	86,2126	2,1	87,4633	50,0178	49,1685	0,8493	0,8493	2,47262451
19,8403	69,6122	2,1	70,8593	49,7719	48,919	0,8529	0,8529	2,46218783
19,8403	69,4682	2	70,6741	49,6279	48,8338	0,7941	0,7941	2,51857449
36,1948	86,2021	2	87,438	50,0073	49,2432	0,7641	0,7641	2,61745845
37,7138	86,8158	2	88,1391	49,102	48,4253	0,6767	0,6767	2,95551943
36,1948	86,0858	2	87,3999	49,891	49,2051	0,6859	0,6859	2,91587695
19,8403	69,526	2	70,8301	49,6857	48,9898	0,6959	0,6959	2,87397615
36,8086	86,4661	2	87,683	49,6575	48,8744	0,7831	0,7831	2,55395224
19,8403	69,436	2	70,7015	49,5957	48,8612	0,7345	0,7345	2,72294078
36,1948	86,3021	2	87,548	50,1073	49,3532	0,7541	0,7541	2,65216815
36,8086	86,5661	2	87,763	49,7575	48,9544	0,8031	0,8031	2,49034989
37,7138	86,6987	2	87,969	48,9849	48,2552	0,7297	0,7297	2,74085241